

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Analýza technologie trojcestného lisování pláště volnoběžky

Multiaxial Forming Technology of Coaster Brake Shell

Student:	Bc. Oldřich Pokorný, DiS.
Vedoucí diplomové práce:	prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.

Ostrava 2013

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Oldřich Pokorný, DiS.**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Analýza technologie trojcestného lisování pláště volnoběžky**
Multiaxial Forming Technology of Coaster Brake Shell

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor technologií výroby pláště volnoběžky.
2. Návrh variant technologie výroby polotovarů pláště volnoběžky.
3. Numerická analýza navržených variant výrobních technologií.
4. Technicko-ekonomické posouzení navržených variant výroby.

Seznam doporučené odborné literatury:


HENZEL, A., SPITTEL, T. *Rasčet energosilových parametrů v procesech obrabotki metallov davleniem*. Moskva: METALLURGIA, 1982. s. 73
BÁLEK, S. *Tepelně technické tabulky a diagramy*. Ostrava: VŠB, 1979, 137 s.
PETRUŽELKA, J. aj. *Metoda konečných prvků ve tváření za tepla*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1998, ISBN 80-7078-636-1.
AVITZUR, B. *Handbook of Metal-Forming Processes*. New York: John Wiley and Sons, 1983
SEMIATIN, S. L. a kol. *ASM Handbook First Edition. Vol. 14A, Metalworking: Bulk Forming*. Ohio, Metals Park: ASM International, 2005

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.**


Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry



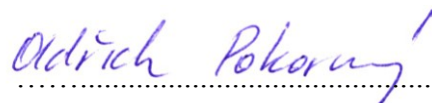


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 17.5.2013



Bc. Oldřich Pokorný, DiS.

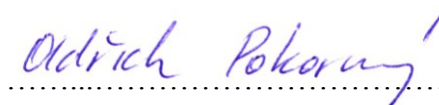
Jméno a příjmení autora práce: Bc. Oldřich Pokorný, DiS.

Adresa trvalého pobytu autora práce: Jiřího z Poděbrad 16, 787 01 Šumperk

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 17.5.2013



Bc. Oldřich Pokorný, DiS.

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce prof. Ing. Jiřímu Hrubému, CSc. za odbornou pomoc a velmi cenné rady při jejím zpracování.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

POKORNÝ, O. *Analýza technologie trojcestného lisování pláště volnoběžky : diplomová práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2013, 62 s. Vedoucí práce: Hrubý, J.

Diplomová práce se zabývá analýzou technologie trojcestného lisování pláště volnoběžky. V úvodu práce jsou popsány současné způsoby jejich výroby a zároveň je zde provedena rešerše problematiky technologií tváření za tepla i za studena. Ve druhé, praktické části této práce, jsou pomocí simulačního programu QForm zanalyzovány, popsány a vyhodnoceny tři různé technologické procesy výroby pláště volnoběžky. První analytické řešení se zabývá výrobou volnoběžky zápusťkovým kovááním. Další dvě analýzy se týkají výroby prostřednictvím lisování za studena z trubek se dvěma různými tloušťkami stěn. V závěru práce je pak vyhodnocení průběhu všech těchto tří variant včetně technicko-ekonomického zhodnocení.

ANOTATION OF MASTER THESIS

POKORNÝ, O. *Multiaxial Forming Technology of Coaster Brake Shell : Master Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2013, 62 s. Thesis head: Hrubý, J.

This thesis analyses multiaxial forming technology of coaster brake shell. The introduction describes the current methods of their production and there is also a research of issue of thermoforming and cold pressing technology. In the second part of this work, three different technological processes of coaster brake shell production are analysed, described and evaluated by using the simulation program QForm. The first analytical solution is dealing with production of coaster brake shell by swaging. Two other analyses are relating to production through cold pressing from tubes with two different wall thicknesses. At the end of the work is the evaluation of process of all three variants including techno-economic evaluation.

OBSAH

1	Seznam použitých značek a symbolů	9
2	Úvod	10
3	Současné technologie výroby	11
4	Základní pojmy a definice	12
4.1	Volba tvářecího stroje	12
4.2	Základní uspořádání tvářecího stroje	12
4.3	Požadavky kladené na tvářecí stroje	13
4.4	Základní rozdělení tvářecích strojů [3]	13
4.5	Volnoběžka	14
5	Objemové tváření za tepla	15
5.1	Dělení polotovarů	15
5.2	Ohřev polotovarů	16
5.3	Zařízení pro ohřev polotovarů	17
5.3.1	Elektro ohřev	17
5.4	Vady výkovků	18
5.5	Volné kování	18
5.6	Zápustkové kování	19
6	Tváření za studena [6]	20
6.1	Stříhání	21
6.2	Tváření za studena	23
6.3	Oceli pro objemové tváření za studena	27
6.1	Materiál na výrobu lisovacích trnů a zápustek	29
6.2	Výhody objemového tváření za studena	29
7	Použitý software	30
7.1	SolidWorks [8]	30
7.2	QForm [9]	30
8	Parametry použitého trojcestného lisu	31
9	Numerická analýza – zápustkové kování	32
9.1	Materiál polotovaru	32
9.2	Zápustka	33
9.2.1	Objem zápustky	33

9.3	Rozměry výchozího polotovaru	34
9.4	Kovací teplota	34
9.5	Teplota materiálu v průběhu kování	35
9.6	Efektivní deformace	36
9.7	Efektivní napětí	37
9.8	Namáhání nástroje	38
10	Lisování za studena z tenkostěnné trubky	39
10.1	Materiál polotovaru	39
10.1	Zápustka	40
10.2	Simulace pro tloušťku stěny 5mm	41
10.2.1	Rozměry polotovaru	41
10.2.2	Teplotní pole polotovaru	41
10.2.3	Efektivní deformace	42
10.2.4	Efektivní napětí	44
10.3	Simulace pro tloušťku stěny 5,6mm	45
10.3.1	Rozměry polotovaru	45
10.3.2	Teplotní pole	46
10.3.3	Efektivní deformace	47
10.3.4	Efektivní napětí	48
10.4	Namáhání nástroje	50
10.5	Porovnání a vyhodnocení variant	50
11	Technicko ekonomické zhodnocení	51
12	Závěr	53
13	Seznam použitých obrázků	54
14	Seznam použitých tabulek	56
15	Seznam použitých grafů	56

1 SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

Značka	Název veličiny	Jednotka
A	Tažnost	[%]
Al	Hliník	[% hm.]
Ac1	Překrystalizační teplota	[°C]
Ac3	Překrystalizační teplota	[°C]
C	Uhlík	[% hm.]
Cu	Měď	[% hm.]
Cr	Chrom	[% hm.]
Mn	Mangan	[% hm.]
Mo	Molybden	[% hm.]
Ni	Nikl	[% hm.]
P	Fosfor	[% hm.]
S	Síra	[% hm.]
W	Wolfram	[% hm.]
V	Vanad	[% hm.]
R _e	Mez kluzu	[MPa]
R _m	Mez pevnosti	[MPa]

2 ÚVOD

Dnešní trendy v průmyslu jasně ukazují, že je stále důležitější investovat peníze do výzkumu a modernizace výrobních linek, pro zajištění konkurenceschopnosti podniku a schopnosti pokrytí poptávky po určitém produktu. Na výrobce jsou vyvolávány obrovské tlaky ze strany spotřebitelů, prodejců či firem, jejichž cílem je srazit ceny výrobků na co nejnížší možnou úroveň. To často vede k nutnosti zavedení nového, efektivnějšího výrobního postupu, k částečné či plné automatizaci výroby, nebo k rozšíření výrobních kapacit.

V této diplomové práci se budu zabývat problematikou výroby pláště volnoběžky na jízdní kolo, s použitím trojcestného hydraulického lisu. Nejprve však v teoretické části této diplomové práce vysvětlím, jak se doposud tyto malé součástky na jízdní kola vyráběly a jaké technologie se k jejich výrobě používají.

Nyní se však ohlédneme do historie. Jízdní kolo bylo vynalezeno již v roce 1817 a to Karlem von Draisem v Německu. V té době to však spíše než kolo byla koloběžka, protože nemělo pedály. Ty se na kolo dostaly až v roce 1861. Zásahu na tom má vynálezce Pirre Michaux. Nicméně i přesto, již od samých počátků cyklistiky, bylo potřeba vyrábět středové náboje. V podstatě se příliš nelišily od těch dnešních. Jedna věc, která se však od té doby podstatně změnila, je stále se zvyšující poptávka po jízdních kolech a nutnosti vyrábět stále rychleji a stále větší množství. Jen od roku 1992 do roku 2002 bylo na celém světě vyrobeno přes jednu miliardu jízdních kol.

Praktická část této diplomové práce by měla poukazovat na možnost výroby pláště volnoběžky pomocí technologie lisování za studena, z tenkostěnné bezešvé trubky. Provedené simulace dokázaly vhodnost této metody pro požadovaný účel. Nástroje jsou sice namáhány více, než je tomu v případě zápusťkového kování a bude docházet k jejich většímu a rychlejšímu opotřebení, ale úspora materiálu a provozních nákladů, by toto negativum měla překonat. Všechny tyto aspekty a porovnání provedených analýz, lze nalézt v kapitole zabývající se porovnáním výsledků ze simulací a v kapitole s technicko-ekonomickým zhodnocením. Práce je založena na výsledcích simulací z analytického programu QForm, který představuje velmi sofistikovaný a moderní nástroj pro tvorbu prostorových simulací tvářecích procesů.

3 SOUČASNÉ TECHNOLOGIE VÝROBY

Volnoběžky na jízdní kola se vyrábí buďto pracným opracováním na soustruzích a CNC obráběcích strojích, nebo zápustkovým kováním a následnými dokončovacími operacemi. Většinou je však výrobní proces časově náročný, technologicky komplikovaný nebo materiálně a energeticky neekonomický. Zvláště pak při opracování bezešvých silnostěnných trubek pomocí soustruhů, kdy tvoří 60-70% materiálu polotovaru odpad. U kování, jako všeobecného tvářecího procesu, je tvorba odpadu minimální a pochybuje se na hranici 5 až 10%. V případě dokončovacích operací, nutných k výrobě volnoběžky, se vlivem opracování dostane odpadní materiál opět na hodnotu desítek procent. [1] Při zápustkovém kováni je navíc nutné polotovar zahřát na správnou kovací teplotu, což pro podnik představuje další nemalé náklady navíc za energie a pořízení adekvátního strojního vybavení. Roční kusová výroba plášťů volnoběžek v podniku se může pohybovat v řádech statisíců kusů a tomu je také potřeba přizpůsobit výrobní program i technologie. Zásadní nutností je možnost co nejvyššího stupně automatizace, pro zvýšení a zrychlení výrobních dávek. Naproti tomu stojí nutnost zachovat vysokou kvalitu obráběných či kovaných součástí, jak z pohledu mechanických vlastností, tak i z pohledu těch estetických. Náboje na jízdních kolech jsou vystavovány obrovským tlakům. Velmi namáhána jsou především místa, kde jsou provlečeny špice. Proto je nutné naprosto přesné finální obrobení a kvalitního tepelného zpracování, zvoleného dle použité oceli.

Jako jednu z dalších variant lze uvést výrobu plášťů pomocí zakružovadla. Roku 1985 byl pány Korábkem Janem a Špačkem Jindřichem, podán návrh na Úřad pro vynálezy a objevy v tehdejší ČSSR, ohledně vynálezu zakružovacího zařízení pro výrobu plášťů volnoběžek. Vynález v dokumentu popsali, jako postupový zakružovací nástroj, který je složen z horní části, upnuté na beranu lisu a spodní části, upnuté na stole lisu. Touto technologií chtěli dosavadní výrobu plášťů volnoběžek zlevnit, zrychlit a plně automatizovat. V popisovaném postupovém nástroji došlo v prvním kroku nejprve k vyražení přesné vnější geometrie na rovný plech a ve druhé operaci, pomocí speciálních trnů kopírujících zaoblený tvar, došlo k zakroužení polotovaru. Nevýhoda této varianty spočívala v tom, že se takto zakroužená součást musela v následném technologickém kroku po celé šířce svařit. [2]

4 ZÁKLADNÍ POJMY A DEFINICE

Tvářecí stroj – „je uměle vytvořená dynamická soustava sloužící k realizaci úkonů technologického tvářecího procesu, vedoucího k trvalému přetvoření výchozího materiálu.“ [3]

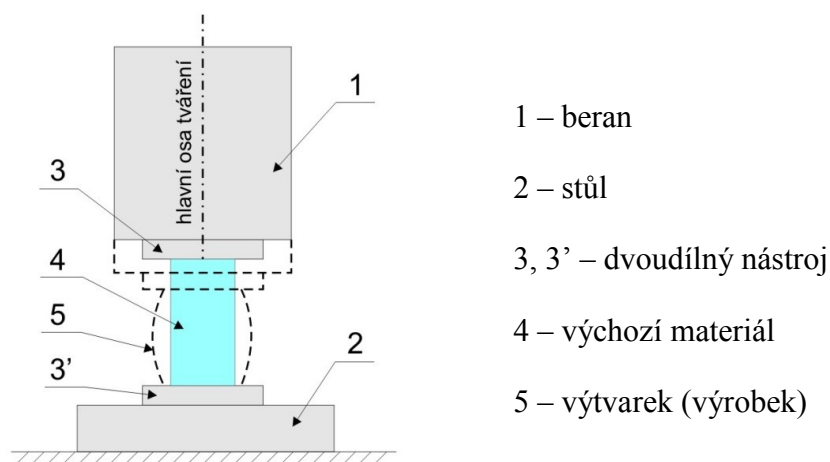
Tváření – „je technologický proces, při kterém se mění tvar výchozího materiálu působením síly, bez odběru třísek (výrobkem je vylisek, výkovek).“ [3]

4.1 Volba tvářecího stroje

Převážná část podniků se při výběru tvářecího stroje orientuje dle jejich současného strojního parku. Při výběru tvářecího stroje je však nutné přihlížet k mnoha faktorům, které výběr stroje ovlivňují. Mezi ty patří například složitost výkovku, konstrukce zápustek a způsob jejich uchycení. Dále způsob, jakým bude výchozí materiál ohříván na kovací teplotu, zda budeme chtít výrobu mechanizovat či automatizovat a v neposlední řadě bychom se při výběru měli řídit požadovanou kvalitou a přesností výkovku. Určitě bychom však při výběru neměli opomenout ani hlučnost stroje a vibrace, které budou od stroje pronikat do okolí. [3]

Správná volba tvářecího stroje by se měla promítnout v ekonomičnosti, jednoduchosti a rychlosti výroby, při dodržení požadované přesnosti a jakosti.

4.2 Základní uspořádání tvářecího stroje



Obr. 1 - Uspořádání tvářecího stroje [3]

4.3 Požadavky kladené na tvářecí stroje

Níže popsané body reflektují požadavky technologů, ekonomů, konstruktérů a dělníků na tvářecí stroje. Pokud má být výroba co nejefektivnější, což si vyžaduje dnešní doba, tak je nutné vybírat tvářecí stroje účelně dle jejich parametrů a typu technologického procesu, který na něm bude vykonáván. Ideální tvářecí stroj je takový, jehož provozní náklady součástí cenově příliš neprodrazí a přitom zajistí stanovené požadavky na kvalitu výlisku. Každý vhodný tvářecí stroj by měl proto splňovat následující požadavky: [3]

- Lis či buchar musí mít dostatečný zdvih
- Musí mít dostatečný výkon a malé provozní náklady
- Přesné a pevné vedení beranu
- Co největší tuhost
- Trvanlivost
- Vysokou produktivitu
- Snadnou ovladatelnost

4.4 Základní rozdělení tvářecích strojů [3]

TVÁŘECÍ STROJE s přímočarým pohybem

- LISY
 - Silové
 - Zdvihové
- BUCHARY
 - Zdvihové
 - Energetické

Dělení podle druhu použitého mechanismu

- Mechanické
- Hydraulické
- Pneumatické a parní
- Ostatní

Dělení podle druhu technologického tvářecího pochodu

- Pro plošné tváření
- Pro objemové tváření
- Pro stříhání

Dělení podle pracovního rozsahu

- Univerzální
- Speciální
- Jednoúčelové

Silové tvářecí stroje používají k překonání deformačního odporu energii potenciální, s rychlostí beranu pod $0,25 \text{ m.s}^{-1}$.

Energetické tvářecí stroje využívají převážně energii kinetickou a rychlost beranu mají vyšší než 5 m.s^{-1} . Hlavním rozdílem, kterým se liší od silových tvářecích strojů, je jejich neklidný chod.

4.5 Volnoběžka

První volnoběžný náboj byl u jízdního kola použit v roce 1904 vynálezcem Arnoštem Sachsem. Od té doby doznává neustálého vylepšování. Dnešní náboje obsahují desítky dalších součástek ukrytých pod pláštěm, starajících se o bezproblémový a hlavně hladký chod kola. Náboje fungují na stále stejném principu, kdy jsou dvěma prstenci po stranách náboje provlečeny špice a středem je prostrčena oska skrz mísky a ložiska, která je na krajích uchycena ve vidlici. Konstrukce se liší jen v detailech, jako jsou použité materiály, způsob uchycení špic, ložiska apod.

I přes to, jsou na tuto zdánlivě jednoduchou součástku kladeny velmi vysoké požadavky z hlediska přesnosti a odolnosti. Středový náboj musí mít přesné rozměry, aby nikde nevznikaly nežádoucí vůle či jiné funkční problémy.



Obr. 2 - Volnoběžka

5 OBJEMOVÉ TVÁŘENÍ ZA TEPLA

V podstatě můžeme říci, že objemovým tvářením za tepla měníme polotovary v hotové výrobky s minimální produkcí odpadu, než jak je tomu například u třískového obrábění. Množství odpadu se u tvářením za tepla pohybuje mezi 5 až 10%. Samotné tvářením materiálu probíhá nad rekrytalizační teplotou. Pohybujeme se asi 30% pod teplotou tavení daného materiálu. Vlivem velmi vysoké rychlosti rekrytalizace zde nedochází ke zpevnění materiálu, díky čemuž nám k tvářením stačí síly až 10x menší, než v případě tvářením za studena. V průběhu tvářením je však povrch materiálu nekvalitní, vlivem vzniku okují. Hlavní uplatnění tato technologie nachází v hromadné a velkosériové výrobě. Objemové tvářením za tepla rozdělujeme na tyto základní druhy: [1] [10]

- Volné kování
- Zápustkové kování
- Přesné kování
- Kování na vodorovných kovacíh strojích
- Kování protlačováním
- Kování za rotace
- Vícecestné kování

Pro všechny metody uvedené výše, je nutné polotovary připravit dělením a následně ohřevem na kovací teplotu.

5.1 Dělení polotovarů

Jako nejčastěji používané polotovary, se v podnicích využívají zejména čtvercové a kruhové sochory, čtvercové a kruhové tyče, tlustostěnné trubky nebo jiné protlačované či tažené polotovary. V případě, že má výchozí polotovar větší rozměry, je nutné jej rozdělit na přířezy a to pomocí: [4]

- **Řezání**

Materiál se řeže na pásových či rámových pilách. Mezi moderní metodu řezání, rozšiřující se v poslední době, pak můžeme zařadit řezání laserem.

- **Stříhání**

Jde o nejrozšířenější a nejvyužívanější způsob dělení polotovarů. Stříhání se provádí buď za studena, nebo za tepla. Střížné ploše se však snižuje jakost.

- **Lámání**

K lámání se využívá beran lisu, který silou ohýbá polotovary opatřené vrubem.

5.2 Ohřev polotovarů

Velmi důležitým faktorem, ovlivňujícím průběh tváření za tepla, je ohřev polotovaru na správnou kovací teplotu. V tom momentě v materiálu dochází k tzv. zotavení, což představuje proces, kdy se vlivem teploty v materiálu snižuje vnitřní pnutí a dochází k uvolnění dislokací v krystalové mřížce. K tomuto efektu dochází ještě před rekrystalizací a nemění se při něm tvar zrn. Velmi důležitá je také teplota, při které tváření skončilo a která by měla být přibližně minimálně 50°C nad teplotou A_{c3} nebo A_{c1} . [1] [4]

Ohřev na kovací teplotu musíme provádět v co nejkratším čase, aby v materiálu nedošlo k narušení vnitřní a povrchové jakosti.

Při zjišťování doby ohřevu, musíme brát ohled na následující faktory: [4]

- **Tepelná vodivost**

Neboli rychlost, jakou se dodané teplo dokáže přenést z povrchu materiálu do jádra. Pokud má materiál vyšší teplotní vodivost, tím nižší bude potřebný čas k ohřátí na kovací teplotu.

- **Měrná tepelná kapacita**

Vysoká hodnota měrné tepelné kapacity prodlužuje dobu ohřevu a zvyšuje energetickou náročnost. Jde o množství tepla, které potřebujeme ke zvýšení teploty o jeden teplotní stupeň na jednotku objemu.

- **Hustota kovů slitin**

Čím vyšší hustota slitiny, tím více energie a času budeme potřebovat k jeho ohřátí.

- **Teplotní roztažnost**

Vysoké hodnoty mají nepříznivý vliv na tepelné napětí v materiálu.

- **Plasticita kovů**

Zvyšuje-li se teplota kovu, vzrůstá i jeho plasticita. Většina kovů přechází do plastického stavu nad teplotou 500-550°C.

5.3 Zařízení pro ohřev polotovarů

Ve výrobních procesech se můžeme setkat s řadou ohřívacích pecí, lišících se svými parametry i způsobem použití. V sériové výrobě se nejčastěji využívají pece indukční. [4] U průmyslových komorových pecí v malosériové a kusové výrobě se využívá plynové palivo nebo v případě odporového ohřevu barevných kovů, elektrická energie. V provozech proto můžeme nejčastěji najít tyto pece: [14]

- Naftové
- Plynové
- Elektroindukční
- Elektroodporové

Při rozhodování nad velikostí pece, musíme brát v potaz:

- Ohřívání polotovaru a jeho materiál, objem a plochu
- Požadované teploty
- Požadovanou kapacitu

Výkon se u ohřívacích pecí udává v tunách za hodinu. Podle tohoto údaje dělíme pece dle výkonu na: [14]

- Pece do malých provozů a dílen s výkonem cca 8 t/24 hod.
- Pece do velkých dílen s výkonem cca 80 t/24 hod.

5.3.1 Elektro ohřev

Tento způsob ohřívání materiálu je rychlý, čistý, bez okují, velmi šetrný k životnímu prostředí, ale je drahý. Vhodný je pro tyčové polotovary menšího průřezu. [14]

U elektroindukčního ohřevu je prohřátí materiálu závislé na hustotě elektrického proudu, které ubývá směrem k jádru. Frekvence pro tyče od 15 do 45mm dosahuje až 8000 Hz. Pro tyče o průměru 200mm je frekvence cca 100 Hz. [14]

5.4 Vady výkovků

U kování se můžeme nejčastěji setkat s následujícími vadami:

- Nedostatečné protváření
- Povrchové trhliny
- Praskliny ve výronku
- Praskliny způsobené tahovými napětími
- Velmi početnou a významnou skupinou vad jsou přeložky
- Další vadou je nezaplnění zápustky. Buď nahromaděním okují či maziva v dutině zápustky.

5.5 Volné kování

Pod tímto pojmem si můžeme představit například kovářství. To je lidstvu známo již dlouhou dobu a právě schopnost zpracovávat železnou rudu je jedno z hledisek, kterými nahlížíme na vyspělost starověkých civilizací. Nejpoužívanějšími nástroji pro volné kování jsou kovádla, která mají většinou univerzální tvary. Z tohoto pohledu se tedy dělí na **ruční** a **strojní**. Typickým představitelem ručního kování je například kovář. Volné kování se tedy používá především v kusové výrobě, při výrobě malých a středně velkých výkovků, při opravách či v uměleckém kovářství. Oproti tomu strojní kování představuje výrobu rozměrově velkých výkovků, které by volným kovářem zhotovit nešlo. Ke strojnímu kování můžeme využít různé tvářecí stroje. Nejčastěji jsou to buchary nebo lis. Princip buchary spočívá v rázech beranu na materiál. Materiál se v tomto případě prokove jen z části. Lis naopak prokove celou tloušťku materiálu klidným a rovnoměrným tlakem. Výkovky však mají limitující faktory v podobě jednoduchosti a musí mít velké materiálové přídavky. [4] [10]

Do volného kování patří:

- Prodlužování
- Pěchování
- Kování na trnu
- Osazování a přesazování
- Děrování
- Ohýbání

5.6 Zápustkové kování

Technologie zápustkového kování se vyznačuje především přesným tečením materiálu do dutiny zápustky, podle které dostává výkovek svůj požadovaný finální tvar. Zápustkové kování se také vyznačuje snadnou obsluhou, vysokou výkonností a úsporou materiálu. Zápustka se dělí na dvě části, kterými je horní část, upnutá k pohyblivému se beranu bucharu nebo lisu a spodní část, která je upnuta na stole tvářecího stroje. Při kování se do spodní části zápustky vloží polotovar zahřátý na kovací teplotu a údery bucharu nebo lisu je vtlačován do navrženého prostoru mezi obě části. Každá zápustka má tedy dutinu, která kopíruje přesný tvar požadovaného výkovku, včetně přídavek na obrábění. V souvislosti s tímto faktem rozlišujeme dva druhy dutin: [5]

1) Otevřená dutina pro kování s výronkem

V průmyslu se otevřené zápustky využívají nejčastěji. Oba dílce u nich však na sebe nedosednou dokonale přesně a v dělicí rovině obou polovin vznikne malá mezera – výronková drážka, která se zaplní přebytečným materiálem a vytvoří tzv. výronek. Otevřené zápustky mají výronkovou dutinu, protože přesný objem polotovaru, který by byl totožný s objemem dutiny, se stanovuje a dodržuje velmi těžko. Je nutné počítat s tolerancemi hutních polotovarů, tolerancí při dělení materiálu, nepřesností tvaru dutiny nebo tolerancí kovací teploty. Každý výchozí materiál má proto v tomto případě určitý přebytek materiálu, který vytvoří zmíněný výronek.

2) Uzavřená dutina pro kování bez výronku

Na rozdíl od otevřené zápustky nemá výronkovou drážku, a proto jsou u tohoto procesu kladeny značné požadavky na přesnost a vystředění výchozího polotovaru, který musí mít přesný objem jako dutina. V případě, že je polotovar objemnější, dochází ke značnému opotřebovávání zápustky a tím ke snižování její životnosti. Tomuto způsobu se jinak říká přesné kování. Výkovek má totiž minimální přídavek na obrábění. [10]

Návrh výroby zápusťkového výkovku zahrnuje:

- Volbu tvářecího stroje
- Zhotovení výkresu výkovku
- Stanovení tvaru a rozměrů výronkové drážky
- Výpočet hmotnosti výkovků
- Výpočet silových parametrů tvářecího stroje
- Výběr a sled potřebných operací
- Výpočet rozměrů výchozího materiálu

6 TVÁŘENÍ ZA STUDENA [6]

Technologie tváření za studena se v tomto oboru řadí mezi ty nejproduktivnější. Lisovací techniku najdeme napříč průmyslovými obory, jako dnes již nezbytnou součást výroby. Například v automobilovém průmyslu se lisovací technikou vyrábí přes 60 až 70% dílců. Automobilový průmysl však není jediný, který využívá mnoho výhod této technologie. Nasazována je jak v sériové, tak v hromadné výrobě. Lisovací stroje jsou dnes začleňovány do automatizovaných výrobních linek, schopny produkovat tisíce rozměrově přesných dílců denně. Dnes si již život bez lisovaných součástí neumíme téměř představit. Jsou obsaženy téměř všude a ve všem, kam naše oko dohlédne. Ať se jedná již o zmíněné karosářské dílce v automobilovém průmyslu, o součásti letadel, lodí, hospodářských strojů, jízdních kol, domácích spotřebičů nebo o nejrůznější zařízení denní potřeby, kterých je nespočet.

Tato technologie je využívána především u výroby rotačních, symetrických součástí, přičemž tváření probíhá pod rekrytizační teplotou. Konkrétně u lisování pláště volnoběžky, se jedná o proces dopředného protlačování. Tato metoda má mnoho výhod, ať už to je úspora výrobního času, vysoká produktivita práce nebo nízké výrobní náklady.

Obecně lze říci, že se jedná o zpracování kovových nebo jiných polotovarů či hmot tak, abychom jim dodali určitý tvar nebo velikost pomocí dvou základních operací:

- Stříháním (oddělování částí)
- Tvářením (přemisťování částic)

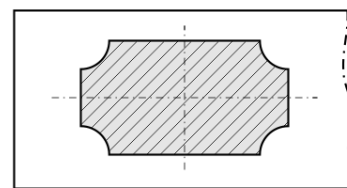
6.1 Stříhání

Pod pojmem stříhání si lze představit oddělování větších částí materiálu, pomocí stříhacích nástrojů. K oddělení materiálu dochází většinou v rovině kolmé k povrchu materiálu. Při stříhání je materiál tvářen v oblasti pružné a tvárné deformace, kdy v něm jsou jednotlivé částčky materiálu posouvány proti sobě, dokud se nedosáhne meze pevnosti stříhaného materiálu. Dosažením této meze se započne samotné oddělení materiálu. [6]

Stříhání lze rozdělit na následující operace:

a) Prostřihování

Do stříhaného materiálu se zhotoví otvor tak, že se materiál poruší po obrysu a v celé jeho tloušťce. Dojde tak k jeho úplnému oddělení.

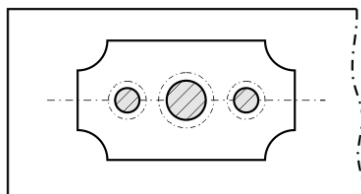


Obr. 3 - Prostřihnoutí materiálu

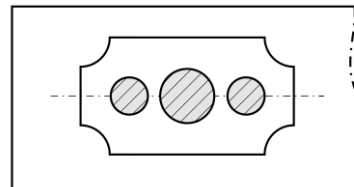
[6]

b) Děrování

Jde o úplné oddělení materiálu v uzavřené linii jako v případě prostřihování, jen s tím rozdílem, že je výstřížek buď součástí (Obr. 4), nebo odpadem (Obr. 5).



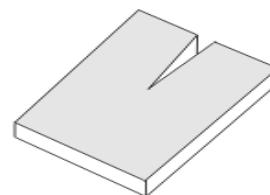
Obr. 4 - Výstřížek je součástí [6]



Obr. 5 - Výstřížek je odpadem [6]

c) Nastřihování

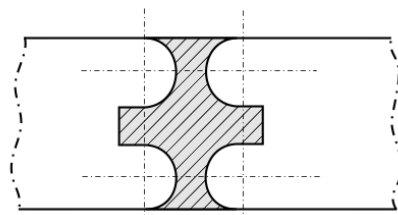
Při nastřihování materiálu dochází pouze k jeho částečnému oddělení (Obr. 6).



Obr. 6 - Nastřihování materiálu [6]

d) Přestřihování

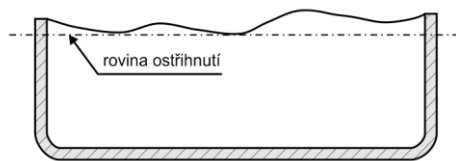
U tohoto procesu se přeruší celá šíře materiálu a tím dojde k jeho oddělení na více částí (Obr. 7).



Obr. 7 - Přestřihování materiálu[6]

e) Ostřihování

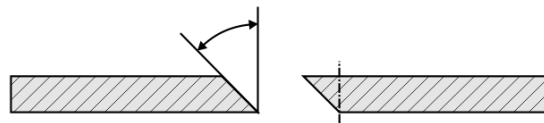
Ostřihováním se odstraňují švy, otřepty a další podobné nerovnosti (Obr. 8).



Obr. 8 - Ostřihování materiálu[6]

f) Přistřihování

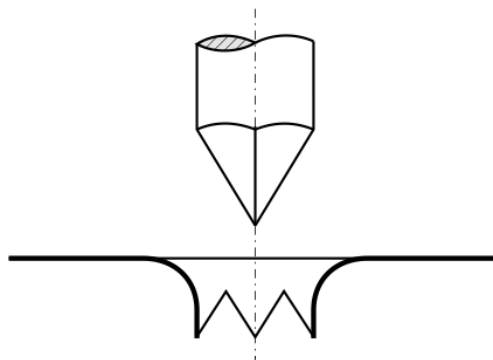
Jde o dokončovací způsob, díky němuž dosáhneme přesného požadovaného geometrického tvaru výstřižku s kvalitními střížnými plochami (Obr. 9).



Obr. 9 - Přistřihování materiálu[6]

g) Protrhávání

Protrháváním se materiál nastříhne a následně vyhne ve směru působení stříhací síly (Obr. 10).



Obr. 10 - Protrhávání[6]

6.2 Tváření za studena

Druhé, rozsáhlé odvětví procesu lisování za studena je tváření. Jde o procesy, kdy se působením vnějších sil v materiálu přemísťují částice, bez porušení soudržnosti kovu. Tím výlisek dostává svoji novou požadovanou podobu. Tváření za studena zahrnuje: [6]

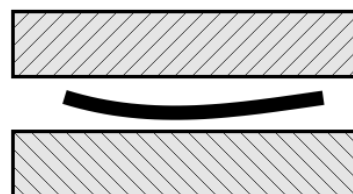
a) Přetváření

Přetváření materiálu znamená, že se materiál trvale deformuje. Buď se ohýbá, nebo se mírně vytahuje či stlačuje. Přesněji můžeme **přetváření** dále rozdělit na úkony:

- **Ohýbání** (Obr. 12)
- **Vyrovnávání** (Obr. 11)
- **Lemování** (Obr. 13)
- **Kroužení** (Obr. 14)



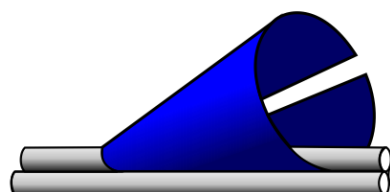
Obr. 11 - Vyrovnávání[6]



Obr. 12 - Ohýbání[6]



Obr. 13 - Lemování[6]



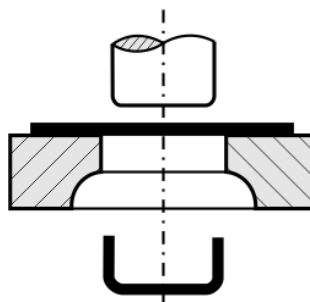
Obr. 14 - Kroužení[6]

b) Tažení

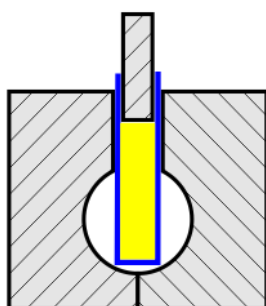
U této lisovací techniky dochází k trvalému přetvoření materiálu pomocí průtažníku a průtláčnice. Tažením vznikají z plechu dutá tělesa, u kterých dochází k menšímu či většímu přesunu částic materiálu.

Tažení dále dělíme na:

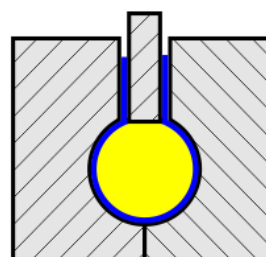
- **Vytahování** (Obr. 15)
- **Přetahování**
- **Rozšiřování** (Obr. 16 a 17)
- **Protahování**



Obr. 15 - Vytahování[6]



Obr. 17 - Před rozšiřováním[6]

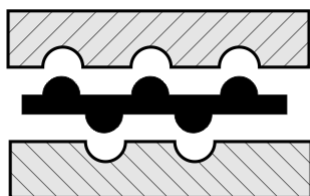


Obr. 16 - Po rozšiřování[6]

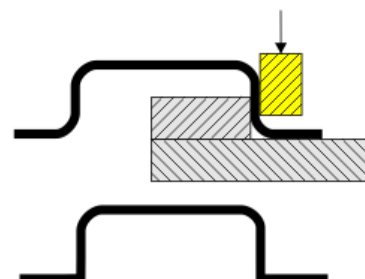
c) Ražení

Pro proces ražení se používají razníky a raznice. Jde v podstatě o roztláčování materiálu a dělí se na další procesy:

- **Ražba** (Obr. 18)
- **Kalibrování** (Obr. 19)
- **Nýtování**



Obr. 18 - Ražení[6]



Obr. 19 - Kalibrování[6]

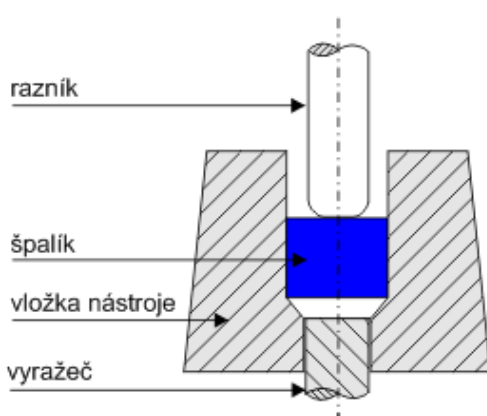
d) Protlačování

K protlačování za studena dochází působením krátkodobého velikého tlaku, přičemž k přetváření materiálu dochází na hranici jeho tečení, bez porušení jeho celistvosti. Tekoucí materiál je průtlačníkem vtlačován do dutiny průtlačnice, pomocí které vylisek získá svůj výsledný tvar.

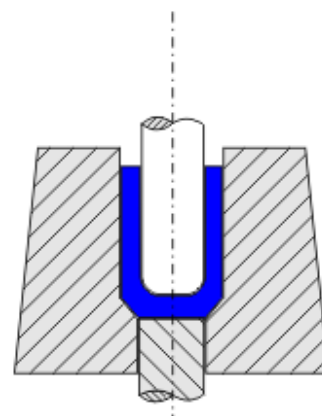
Podle způsobu tečení materiálu rozeznáváme tři základní druhy protlačování: [6]

1) Protlačování proti směru pohybu trnu (zpětné)

Tento způsob neboli zpětné protlačování, se vyznačuje tím, že materiál teče kolem razníku směrem zpět. Doporučuje se však tuto metodu použít pouze pro vylisky, které svou výškou v hotovém stavu nepřesahují 2,5x násobek jejich průměru. Pokud tato podmínka není splněna, je technologický postup nutné doplnit o další tahové operace. V tom případě však musíme počítat s přídavkem na průměru, protože vlivem tažení na požadovaný rozměr, se bude tloušťka stěny vlivem tažení redukovat. Musíme proto správně spočítat tloušťku stěny po dokončení protlačování a podle toho upravit nástroje.



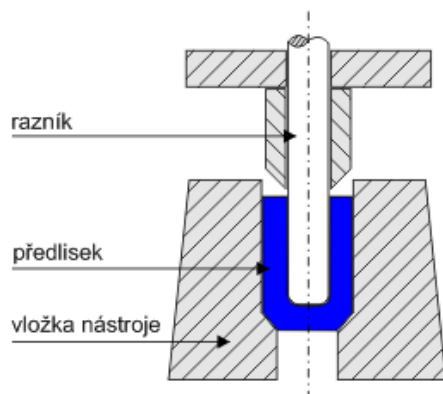
Obr. 21 - Před zpětným protlačováním [6]



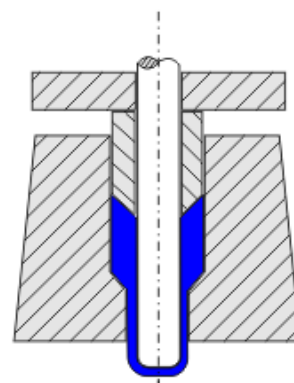
Obr. 20 - Po zpětném protlačování [6]

2) Protlačování ve směru pohybu trnu (dopředné)

Jinak nazýváno také dopředné protlačování. Materiál je tlačěn před razníkem a vyplňuje postupně dutinu nástroje. Na obrázcích (Obr. 22 a 23) je znázorněna metoda, kdy je místo špalíku použit již hotový předlisek, například kalíšek, který byl vylisován předchozí metodou, tedy zpětným protlačováním. Tato metoda je výhodnější než u zpětného protlačování, protože je možné vyrábět výlisky, u kterých poměr průměru k výšce nepřesahuje 1:24.



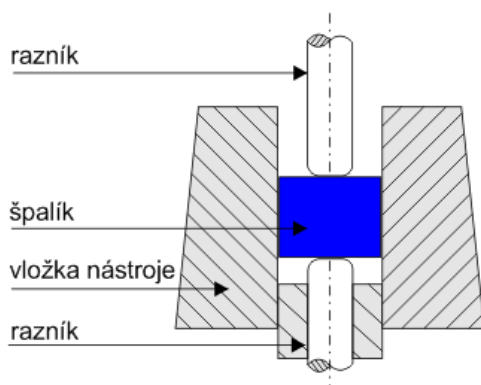
Obr. 22 - Před dopředným protlačováním [6]



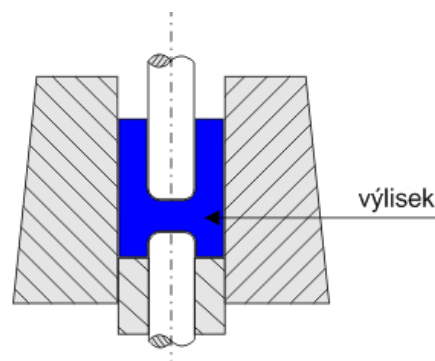
Obr. 23 - Po dopředném protlačování [6]

3) Protlačování sdružené

U sdruženého protlačování dochází k obousměrnému tečení materiálu. V nástroji se však pohybuje pouze horní trn, kolem kterého se materiál protlačuje zpětně. Dolní trn je v nástroji ukotven napevno a po dokončení tvářecí operace většinou slouží jako vyražec. Ten se uvádí do chodu až v momentě, kdy se horní trn (razník) pohybuje zpět do horní úvrati.



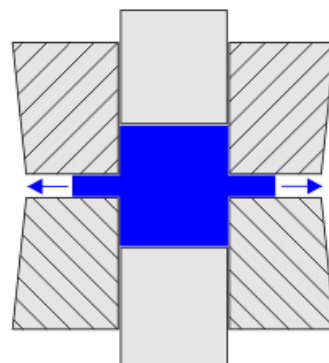
Obr. 25 - Před protlačováním[6]



Obr. 24 - Po protlačování[6]

4) Stranové protlačování

Materiál při stranovém protlačování teče kolmo na pohyb průtlačníku. Průtlaček je vložen mezi průtlačník a spodní trn, přičemž se materiál vytlačí do dutiny mezi spodní a horní průtlačnicí a vytvoří tak kolem průtlačku členité výstupky, které mají buď pravidelný, nebo nepravidelný tvar.



Obr. 26 - Stranové protlačování[6]

5) Pěchování

Při pěchování dochází ke stlačování výchozího polotovaru. Ten poté mění svůj tvar a zvětšuje se mu průřez. Tato technologie se využívá například ke kalibraci výchozího materiálu na požadované přesné rozměry nebo k upravení polotovaru na potřebné rozměry před další tvářecí operací.

6) Kombinované tváření

Tento způsob v sobě zahrnuje nebo kombinuje všechny výše popsané metody, podle druhu požadované součásti. Jedná se o moderní a často využívanou technologii, určenou pro výrobu tvarově velmi složitých výlisků. Ty v dnešní době můžeme najít prakticky v každém zařízení.

6.3 Oceli pro objemové tváření za studena

Ne každá ocel je vhodná k tváření za studena. Proto by se správnému výběru měla věnovat náležitá pozornost. Technolog by se měl při výběru řídit několika základními faktory: [6]

a) Stav oceli

Nejlépe se na protlačování hodí ocel ve stavu žíhaném na měkko.

b) Struktura oceli

Protlačovaná ocel by měla být co nejměkčí s feriticko-perlitickou strukturou. Optimální velikost zrna se dle ČSN 42 0463 doporučuje 5 až 8.

c) Mechanické vlastnosti

Nejčastěji se pro tváření za studena používají nízkouhlíkové a nízkolegované oceli, protože mají malý sklon ke zpevnění a mají optimální tvárnost. Ocel by měla mít co nejnižší mez kluzu a co nejvyšší tažnost.

d) Chemické složení oceli

Ocel určená pro tuto technologii by měla mít nízký obsah uhlíku a minimální obsah fosforu a síry.

Tabulka 1 - Přehled základních ocelí používaných pro tváření za studena [6]

Ocel podle ČSN	Pevnost v žíhaném stavu R_m [MPa]	Ocel podle ČSN	Pevnost v žíhaném stavu R_m [MPa]
11 341	340 - 420	12 050	550
11 426	420 - 500	13 240	750
11 523	520 - 640	14 120	600
12 013	400	14 220	700
12 010	340	14 221	700
12 020	400	14 331	800
12 024	400	15 230	700
12 031	400	15 260	800
12 040	450 - 600	16 220	600

Oceli můžeme rozdělit dle vhodnosti k tváření do tří skupin:

Zvláště vhodné k tváření

11 300, 11 320, 11 330, 11 343, 11 373, 12 010, 12 011, 12 013

Oceli dobře tvářitelné, při běžném tepelném zpracování

11 350, 11 375, 11 423, 11 425, 11 523, 12 020, 12 030, 14 120, 14 220

Oceli, které lze tvářet jen při pečlivém tepelném zpracování

11 500, 11 600, 12 040, 12 050, 15 260, 16 220, 16 221, 17 021, 17 027, 17 115, 17 255

6.1 Materiál na výrobu lisovacích trnů a zápustek

Jako nejvhodnější materiál byla vybrána nástrojová chrom-wolfram-křemík-vanadová ocel, nesoucí označení 19 733 (dle nového značení 1.2550). Vyznačuje se vysokou odolností proti dynamickému namáhání a vysokou houževnatostí. Nástroje vyrobené z této oceli, vynikají také svojí odolností proti opotřebení vlivem nárazů a úderů. Díky svým mechanickým vlastnostem se hodí na výrobu nástrojů pro tváření, jako jsou lisovací trny, nástroje pro tlačení a protlačování, razidla apod. [7]

Tabulka 2 - Chemické složení oceli 19 733 [11]

Druh ocele	Chemické složení [%]										
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	W	V	Cu
19 733	0,5- 0,6	0,15-0,45	0,8 -1,1	≤ 0,03	≤ 0,03	0,9-1,2	≤ 0,35	≤ 0,2	1,7-2,1	0,15-0,3	≤ 0,35

6.2 Výhody objemového tváření za studena

Pro tváření lze využívat i levnější materiály, nízce legované s menší pevností. Při tváření totiž dochází zároveň ke zvýšení pevnosti až 2,5 krát. [6] Využitím této technologie můžeme dosáhnout také velmi výrazného zrychlení výroby, což je velmi pozitivní fakt z ekonomického hlediska. I zde platí úměra - čím rychlejší výroba, tím nižší výrobní náklady. Samozřejmě by i zde měl každý konstruktér či technolog postupovat tak, aby technologické kroky, vedoucí k výslednému zpracování, nezvýšilo cenu výrobku tak, že by se kvůli ní stal finančně nedostupný. Proto je nutné, aby konstruktéři a technologové navrhovali výrobky co nejúčelněji, jak z hlediska jejich použití a využití, tak i včetně dodržení správných technologických postupů, pro zajištění správné výroby. V takovém případě má lisování za studena obrovský potenciál i v budoucnu.

7 POUŽITÝ SOFTWARE

Pro matematickou simulaci tvářecích procesů pláště volnoběžky byl zvolen program QForm, který umožňuje analýzu těchto procesů ve 3D prostředí. Pro zhotovení 3D modelů, sloužících jako podklady pro QForm, byl využit modelovací program SolidWorks.

7.1 SolidWorks [8]

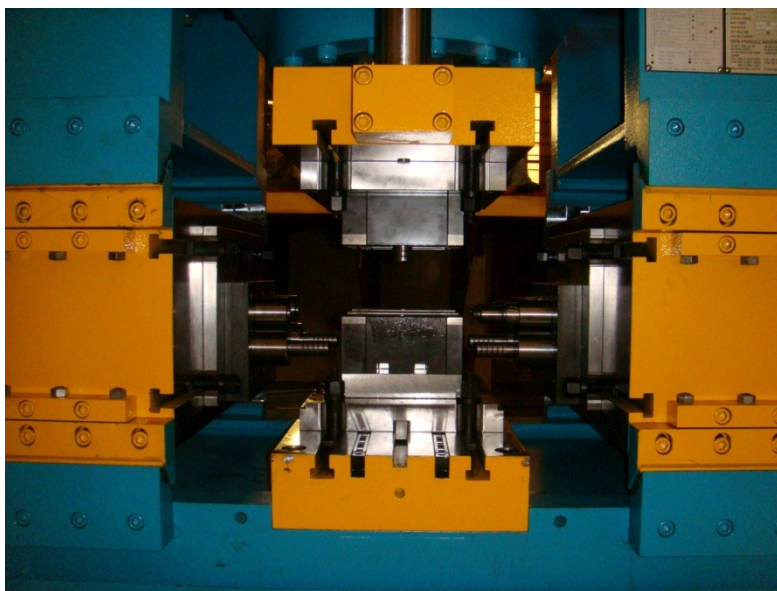
Pro zhotovení modelů lisovacích trnů, zápusťek a špalků polotovarů, jsem využil propracovaný strojírenský 3D CAD software SolidWorks, který se vyvíjí již od roku 1995. Ovládání tohoto programu je na velmi intuitivní úrovni a zvládne jej opravdu každý, kdo již s nějakým podobným 3D modelovacím softwarem pracoval. Jde o přímou konkurenci CAD programům typu ProEngineer, CATIA, Inventor, nebo AutoCad. Výstupní data pro QForm byly ukládány ve formátu *.STEP, který by mimo jiné měly podporovat i ostatní výše jmenované programy. SolidWorks v sobě zahrnuje nástroje pro 3D modelování, vytváření sestav, tvorbu výkresové dokumentace, plechové součásti, svařované konstrukce, analýzy a také schopnost vyrenderovat model v reálném pohledu s použitím odlesků, osvětlení, stínů či nepřehledného množství materiálů a textur, které se dají na modely lehce aplikovat.

7.2 QForm [9]

Jedná se o moderní analyticko-simulační software od firmy Quantor Ltd. Hlavní předností programu je schopnost simulace metodou konečných prvků (MKP), což zjednodušeně představuje rozložení součásti na malé částčky, které jsou matematicky popsány. Čím menší části, tím přesnější simulace. Tento, a jemu podobné programy jako ANSYS, MARC nebo FORGE, proto představují ideální nástroje pro simultánní zkoumání tváření za tepla i za studena a určitě by některý z jmenovaných programů neměl v moderních podnicích zabývajících se tvářením chybět. Může ušetřit spoustu vynaložených peněz při experimentální výrobě nástrojů a jejich doladování až na základě reálných zkoušek. Provedením a vyhodnocením simulace v programu QForm, můžeme lokalizovat a eliminovat problémy ještě dříve, než by se projevíly v průběhu ostrého provozu. Program obsahuje množství funkcí, které můžeme kontrolovat, a které se velmi reálně přibližují skutečným hodnotám, zjištěným při experimentálních zkouškách. Podmínkou správné simulace je však co nejpřesnější zadání okrajových podmínek.

8 PARAMETRY POUŽITÉHO TROJCESTNÉHO LISU

Výrobce uvažovaného trojcestného lisu je společnost DEES HYDRAULIC Industrial CO., LTD. Lis nese označení HD-700 Three Way Hydraulic Press.



Obr. 27 - Ukázka trojcestného lisu

Tabulka 3 - Parametry trojcestného lisu

Parametr	Hodnota	Jednotka
Upínací válec x 1 sada	300	tun
Velikost stolu	750x400	mm
Maximální otevření	500	mm
Zdvih	250	mm
Zpětná rychlost	135	mm/sec
Přibližovací rychlost	135	mm/sec
Pomalá přibližovací rychlost	16	mm/sec
Boční válce x 2 sady	200+200	tun
Maximální otevření mezi bočními válci	700	mm
Zdvih bočního válce	200	mm
Boční přibližovací rychlost	160	mm/sec
Boční zpětná rychlost	160	mm/sec
Boční lisovací rychlost	12	mm/sec
Motor	40	Hp x 2 sady

9 NUMERICKÁ ANALÝZA – ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ

Pro zhotovení numerické analýzy je nutné zadat do programu okrajové podmínky, podle kterých se simulace bude řídit. V případě zápusťkového kování to jsou:

- Teplota polotovaru 1100°C
- Teplota nástrojů 150°C
- Materiál nástrojů 19 552
- Materiál polotovaru 11 523
- Chlazení na vzduchu 5 s
- Chlazení v nástroji 3 s

9.1 Materiál polotovaru

Jako nejvhodnější materiál pro výrobu pláště volnoběžky byla vybrána konstrukční ocel s označením 11 523, která je svými mechanickými vlastnostmi vhodná na mostní či jiné svařované konstrukce, součásti strojů, automobily, motocykly a v našem případě také na jízdní kola.

Tabulka 4 - Chemické složení oceli 11 523 [13]

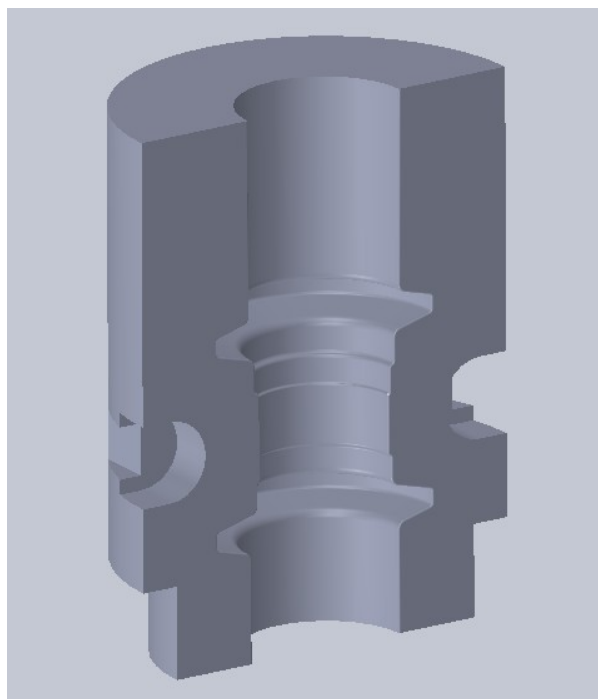
Druh ocele	Chemické složení [%]						
	C	Mn	Si	Cr	Al	P	S
11 523	≤ 0,2	≤ 1,5	≤ 0,55	≤ 0,3	≤ 0,015	≤ 0,05	≤ 0,045

Tabulka 5 - Mechanické vlastnosti oceli 11 523[13]

Mechanické vlastnosti	Hodnoty
Pevnost v tahu R_e MPa	510 - 680
Mez kluzu R_e MPa	min. 355
Tažnost A10 %	min. 22

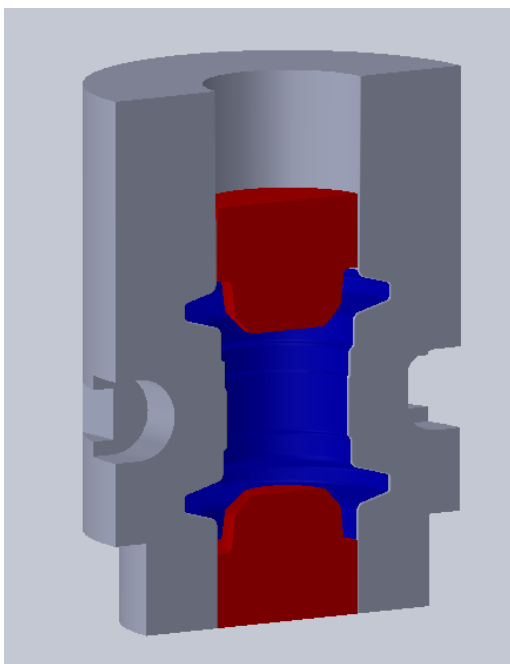
9.2 Zápustka

Vnitřní tvar zápustky pro objemové tváření byl navržen dle dodaného výkresu volnoběžky. Je složena ze dvou protilehlých částí, přičemž z horní a spodní strany zápustky je volný prostor pro lisovací trny. Působením tlaku na vrchní trn, dojde k postupnému vyplňování dutiny zápustky zahřátým materiálem.



Obr. 28 - Zápustka pro kování

9.2.1 Objem zápustky



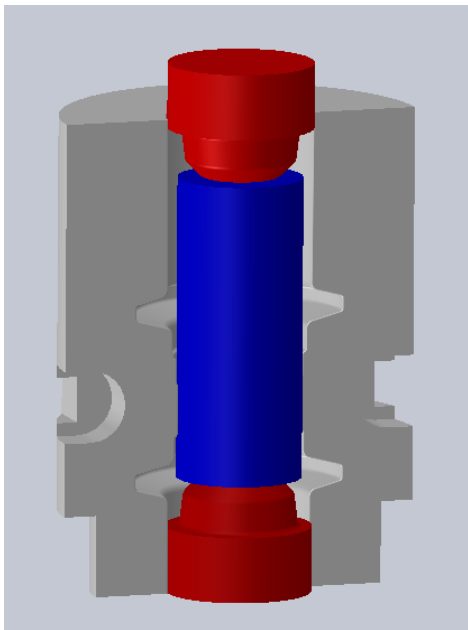
Obr. 29 - Objem výkovku

Objem modře ohraničené oblasti, včetně již zasunutých trnů (Obr. 29), byl zjištěn pomocí funkce „Fyzikální vlastnosti“, která je integrována přímo v programu SolidWorks. Abych touto funkcí dokázal zjistit přesný objem, byl vymodelován finální tvar volnoběžky včetně zahloubení pro trny a poté pomocí zmíněné funkce zjištěn objem.

Výsledný objem: 104 143,66mm³

9.3 Rozměry výchozího polotovaru

Pro určení rozměrů špalku, na obrázku znázorněného modrou barvou, jsem vycházel z výkresové dokumentace volnoběžky. Podle ní mělo nejužší místo volnoběžky průměr 38,4mm. Od tohoto rozměru se odvíjel průměr tyčového materiálu, který byl pro simulaci zvolen na 38mm.



Výška špalku

Pro výpočet výšky špalku jsem vycházel ze základního vzorce pro objem válce:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot v$$

V – objem válce

r – poloměr válce

v – výška válce

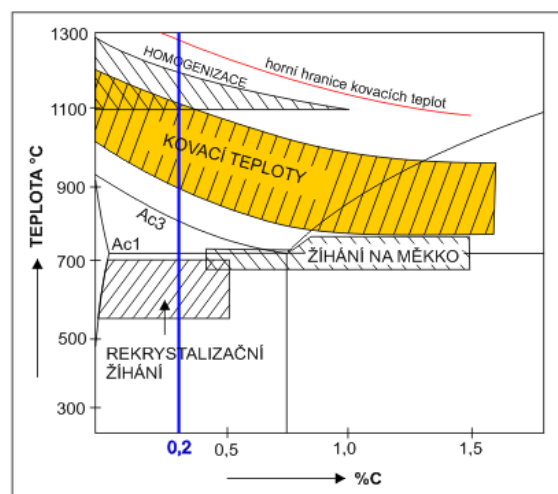
Z toho lze lehce odvodit vztah pro výpočet výšky:

$$v = \frac{V}{\pi \cdot r^2} = \frac{104\,143,66}{\pi \cdot 19^2} = 91,83mm$$

Obr. 30 - Výchozí polotovar - kování

9.4 Kovací teplota

Jednou z hlavních nevýhod tohoto technologického procesu, je nutnost předehrát polotovar na kovací teplotu. Tu odvodíme podle rovnovážného diagramu Fe_3C . Hlavní kritérium, které ovlivňuje kovací teplotu, je obsah uhlíku v oceli.[10] V případě materiálu 11 523 je to 0,20 hm. % C, což je v diagramu znázorněno modrou svislicí. Z diagramu lze tedy vyčíst, že se kovací teplota pro náš materiál pohybuje v rozmezí 800°C až 1150°C.



Obr. 31 - Diagram kovacích teplot [10]

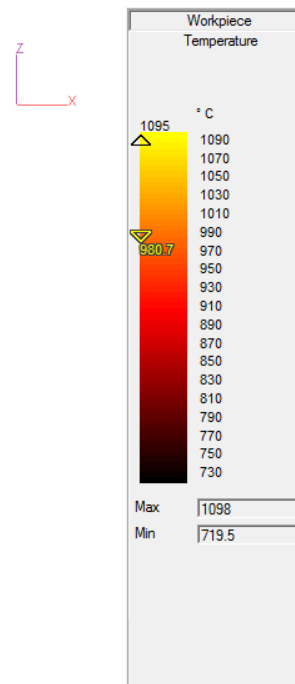
Pro simulaci tedy nastavíme kovací teplotu materiálu na 1100°C. V průběhu tváření se teplota polotovaru bude postupně snižovat, vlivem chlazení či přenosu tepla do nástroje a je důležité, aby dokovací teplota byla minimálně 50-80°C nad křivkou Ac_3 .

Zahřátí materiálu na 1100°C představuje z ekonomického hlediska značnou energetickou zátěž. S materiálem o tak vysoké teplotě je navíc velmi obtížná manipulace, obzvláště z pohledu bezpečnosti práce. K pozicování a vyjímání zahřátého polotovaru by bylo potřeba použít manipulátor.

9.5 Teplota materiálu v průběhu kování

Na obrázku (Obr. 32) můžeme vidět menší prohřátí u povrchu polotovaru. Žlutá barva na obrázku představuje teplotu zhruba 1050°C. Načervenalá barva podél okrajů signalizuje, dle legendy, teplotu cca 980-1000°C.

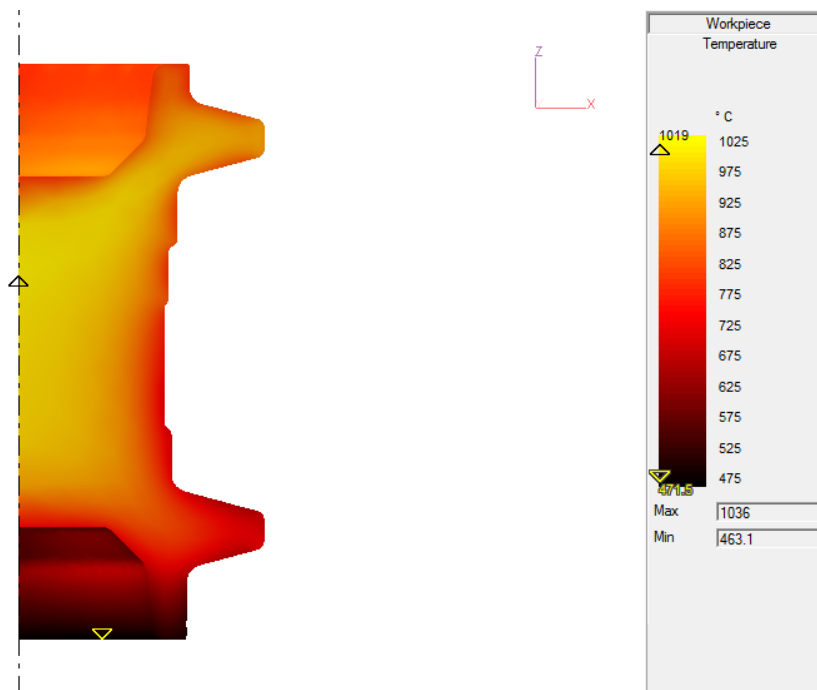
QForm v.5.1.1
QuantorForm
torpedo_2013.qfm
Action 1



Obr. 32 - Kovací teplota polotovaru

Na následujícím snímku (Obr. 33) vidíme rapidní ochlazení výkovku vlivem kování, hlavně v oblasti stykových ploch s nástrojem. Zde dochází k ochlazování výkovku vlivem předávání tepla do nástroje. Minimální dokovací teplota vypočtená programem je 463°C, což oproti počáteční kovací teplotě 1100°C činí ochlazení o 637°C. Průměrné dokovací teploty kolem jádra výkovku však stále činí zhruba 970°C.

QForm v.5.1.1
QuantorForm
torpedo_2013.qfm
Action 2

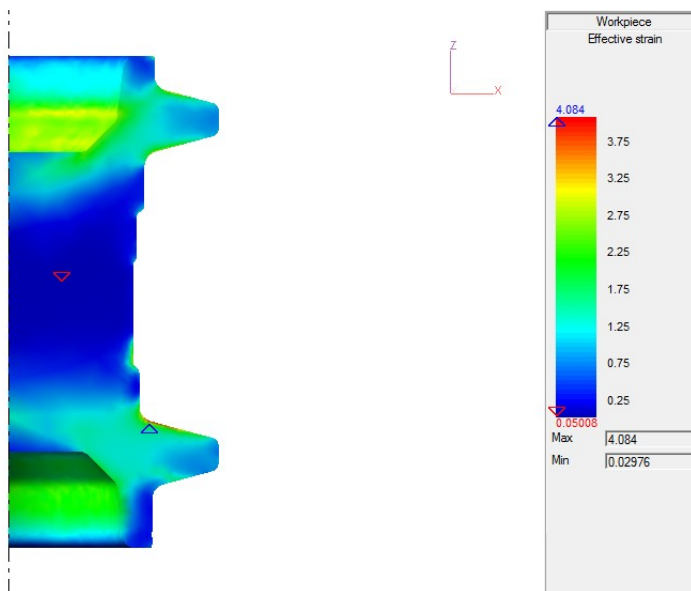


Obr. 33 - Teplotní pole po dokování

9.6 Efektivní deformace

Ze získaných dat můžeme vyčíslit, že k největšímu nárůstu deformace dochází v místech přechování materiálu, kolem lisovacích trnů a v prstencích volnoběžky, do kterých je materiál vtlačován. Hodnota deformace v tomto případě dosahuje maximální hodnoty 4,084 v místě, označeném modrou šipkou. Oproti tomu k nejmenší deformaci dochází zhruba uprostřed výkovku, kde má velikost efektivní deformace hodnotu 0,02976 a je znázorněna červenou šipkou.

QForm v.5.1.1
 QuantorForm
 torpedo_2013.qfm
 Action 2

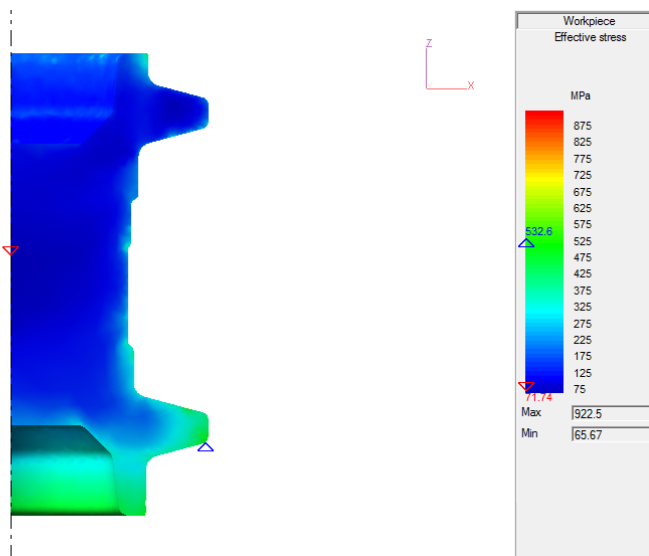


Obr. 34 - Velikost intenzity deformace po kování

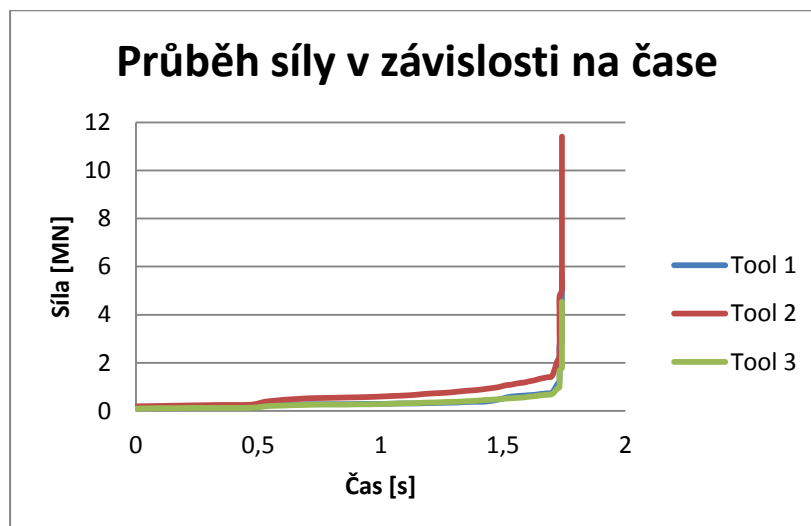
9.7 Efektivní napětí

Největší efektivní napětí dosahuje hodnoty 532,6 MPa, na vnějším okraji prstence výkovku. Deformační napětí se hromadilo převážně ve spodní části, protože v simulaci byl aktivní pouze vrchní lisovací trn. Spodní trn se v zápustce nepohybuje a je pevně ukotven spolu se zápustkou na stole lisu. K přechování materiálu tedy dochází vtlačováním trnu z vrchní strany.

QForm v.5.1.1
 QuantorForm
 torpedo_2013.qfm
 Action 2



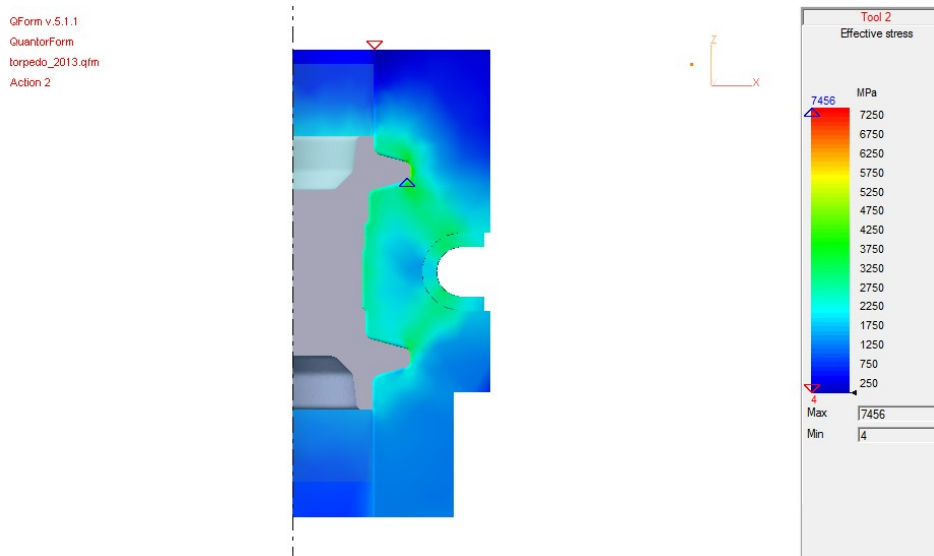
Obr. 35 - Velikost deformačního napětí po kování



Graf 1 - Průběh síly při kování v závislosti na čase

Na grafu (Graf 1) jsou znázorněny průběhy sil na jednotlivých nástrojích. Tool 1 představuje horní lisovací trn, nástroj Tool 2 je zápustka a Tool 3 spodní lisovací trn. Z grafu můžeme vidět, že téměř po celý průběh kování, se působení tvářecích sil na nástroje zvyšovalo jen mírně. Až téměř u konce kování se hodnoty tvářecích sil zvýšily výrazně, což bylo způsobeno zejména tím, že v konečné fázi simulace došlo k přeplnění zápustky. Vznik této nереálné špičky o hodnotě 11,8MN je důsledek toho, že kovací síly stroje nebyly v simulaci nijak omezeny a byla nastavena pevná doba kování.

9.8 Namáhání nástroje



Obr. 36 - Velikost namáhání nástroje po dokování [MPa]

Obrázek na předchozí straně (Obr. 36) nám ukazuje, jak je na konci kování namáhána sama zápusťka. V tomto případě namáhání dosahuje extrémních nereálných hodnot, způsobených přeplněním zápusťky během přechování. Uvedené hodnoty proto musíme brát jen orientačně a musíme porovnávat namáhání hlavně podle barevného pole. Znázorněné údaje tedy představují výchylku v simulaci, a proto je zanedbáme.

10 LISOVÁNÍ ZA STUDENA Z TENKOSTĚNNÉ TRUBKY

Vstupní okrajové podmínky pro simulaci lisování za studena v programu QForm:

- Teplota polotovaru 21°C
- Teplota nástrojů 20°C
- Materiál nástrojů 19 733
- Materiál polotovaru 11 523
- Chlazení na vzduchu 3 s
- Chlazení v nástroji 2 s

10.1 Materiál polotovaru

Na výrobu pláště volnoběžky byla vybrána konstrukční ocel 11 523, která svými mechanickými vlastnostmi odpovídá typu použití na jízdním kole. Přesněji řečeno se jedná o tenkostěnné bezešvé trubky s tloušťkou stěny 5 a 5,6mm. Polotovaru byl vybrán na základě aktuální nabídky prodejce hutního materiálu společnosti BMB OCEL, s.r.o., jež na našem trhu působí od roku 1996. [12]

Tabulka 6 - Porovnání hmotnosti trubek pro lisování za studena [12]

Ocel 11 523 vnější průměr (mm)	Tloušťka stěny (mm)	
	5	5,6
	Hmotnost (kg/m) / max. délka (m)	
44,5	4,87 / 9,5	5,38 / 9,5

Tabulka 7 - Chemické složení [13]

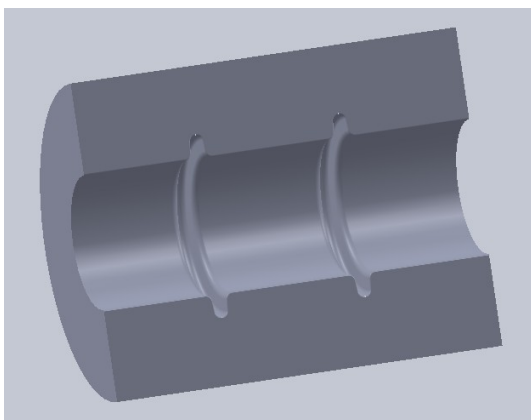
Druh ocele	Chemické složení [%]						
	C	Mn	Si	Cr	Al	P	S
11 523	≤ 0,2	≤ 1,5	≤ 0,55	≤ 0,3	≤ 0,015	≤ 0,05	≤ 0,045

Tabulka 8 - Mechanické vlastnosti [13]

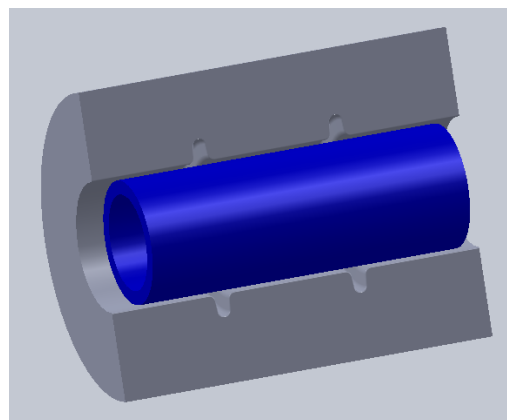
Mechanické vlastnosti	Hodnoty
Pevnost v tahu Re Mpa	510 - 680
Mez kluzu Re Mpa	min. 355
Tažnost A10 %	min. 22

10.1 Zápustka

Pro obě simulované varianty, je vnitřní průměr zápustky upraven na hodnotu 46,6mm. To nám zajistí dostatečnou vůli pro snadné vkládání výchozího polotovaru, který má pro obě varianty stejný vnější průměr a liší se pouze délkou a tloušťkou stěny. Vnitřní rozměry zápustky jsou včetně přídavek na obrábění. Finální tvar dle výkresové dokumentace, volnoběžka dostane až po obrobení vnější plochy výlisku.



Obr. 38 - Zápustka pro lisování

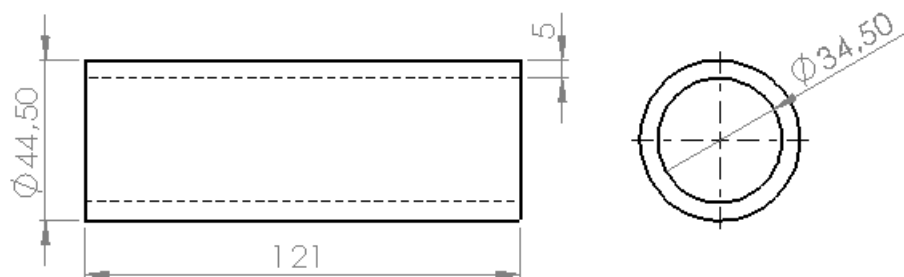


Obr. 37 - Zápustka pro lisování s polotovarem

10.2 Simulace pro tloušťku stěny 5mm

10.2.1 Rozměry polotovaru

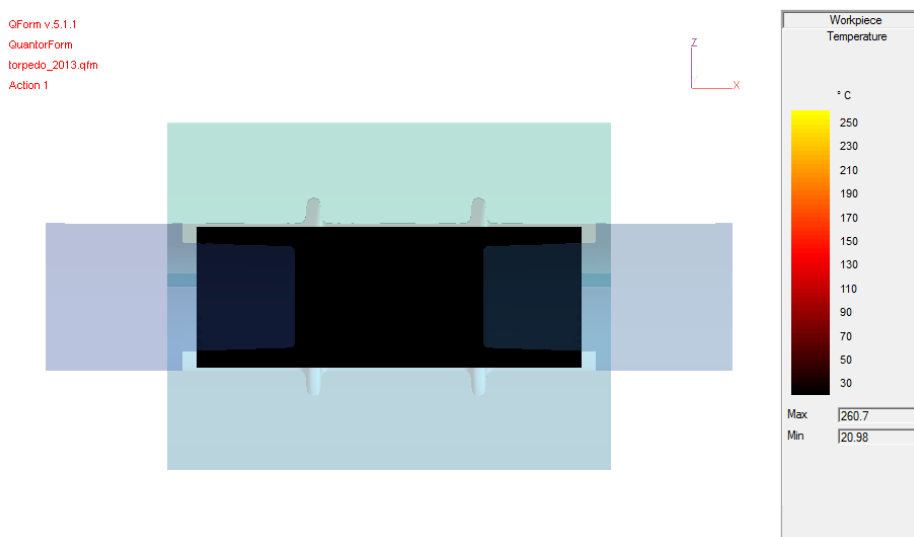
Pro první variantu simulace byla vybrána bezešvá tenkostěnná trubka, s vnějším průměrem 44,5mm a tloušťkou stěny 5mm.



Obr. 39 - Rozměry polotovaru pro trubku se stěnou 5mm

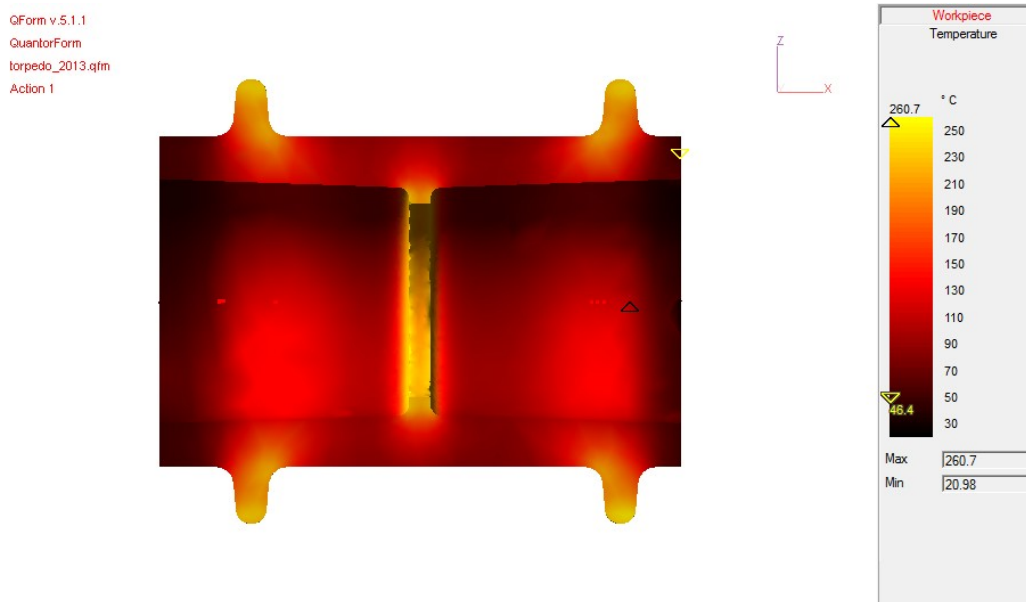
10.2.2 Teplotní pole polotovaru

Hlavní výhodou lisování za studena je fakt, že se polotovar nemusí zahřívat na kovací teplotu, jako je tomu u zápusťkového kování. V tomto případě je tedy polotovar do nástroje vložen s počáteční teplotou 21°C, což na obrázku (Obr. 40) reprezentuje černá barva.



Obr. 40 - Teplotní pole polotovaru před lisováním – teplota polotovaru 21°C

Na následujícím snímku (Obr. 41) můžeme vyhodnotit průběh teplotního pole po tvářecím procesu. Nárůst teplot můžeme pozorovat především v oblasti vtoku materiálu do výběžků v nástroji a nejvyšší nárůst přímo uprostřed výlisku, kde se přebytečný materiál vtlačuje do dutiny mezi tvářecími trny. Nejvyšší teplota je právě v tomto místě a dosahuje hodnoty 260,7°C.

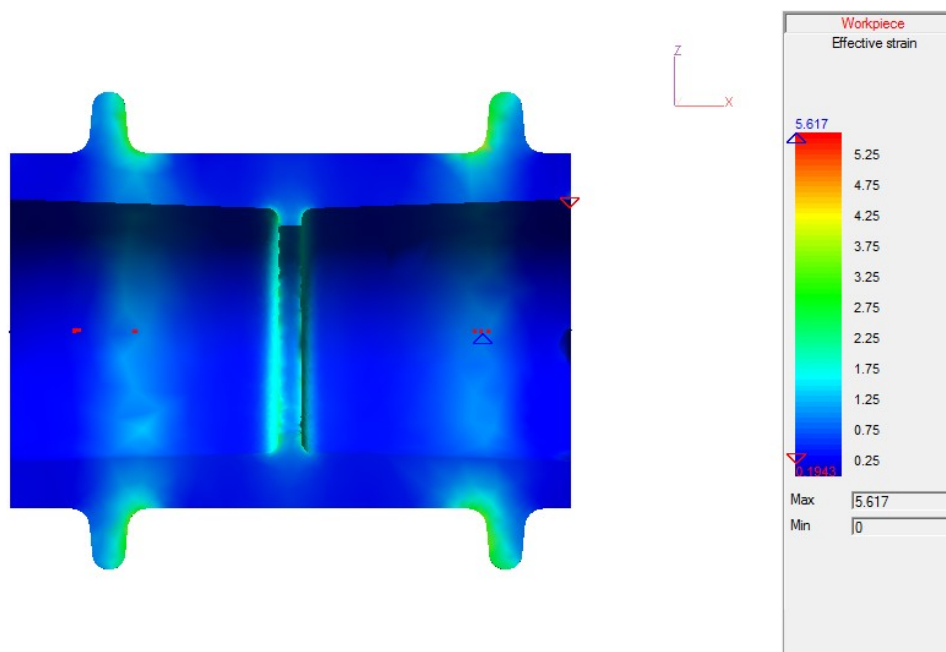


Obr. 41 - Teplotní pole po lisování

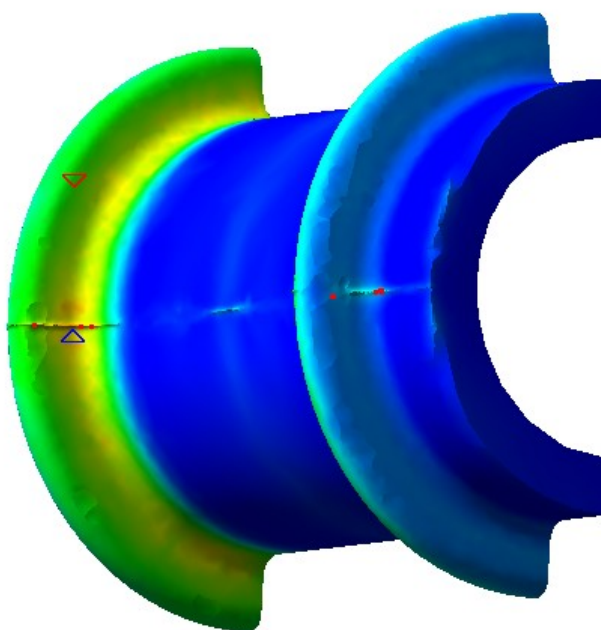
10.2.3 Efektivní deformace

Z výsledků simulace na (Obr. 42) pro lisování trubky za studena můžeme vidět, že k největší deformaci dochází v místě vnitřního ohybu prstence. Postupným zasunováním lisovacích trnů, zde dochází k největšímu nárůstu deformace vlivem přechování materiálu, až na průměrnou hodnotu 4,25. Na (Obr. 42) můžeme vidět vnitřní prostor, zvláště pak místo, kde dochází k natlačování materiálu mezi lisovací trny. Na dalším snímku (Obr. 43) je vnější 3D pohled na místo s největší intenzitou deformace. Toto místo je v ohybu prstence a je označeno modrou šipkou a nažloutlou barvou. Výronek uprostřed součásti vznikl vtečením materiálu mezi obě poloviny zápustky a způsobil v tomto místě lokální extrém deformace s hodnotou 5,617. Jedná se o výchylku při simulaci, proto ji zanedbáme.

QForm v.5.1.1
QuantorForm
torpedo_2013.qfm
Action 1



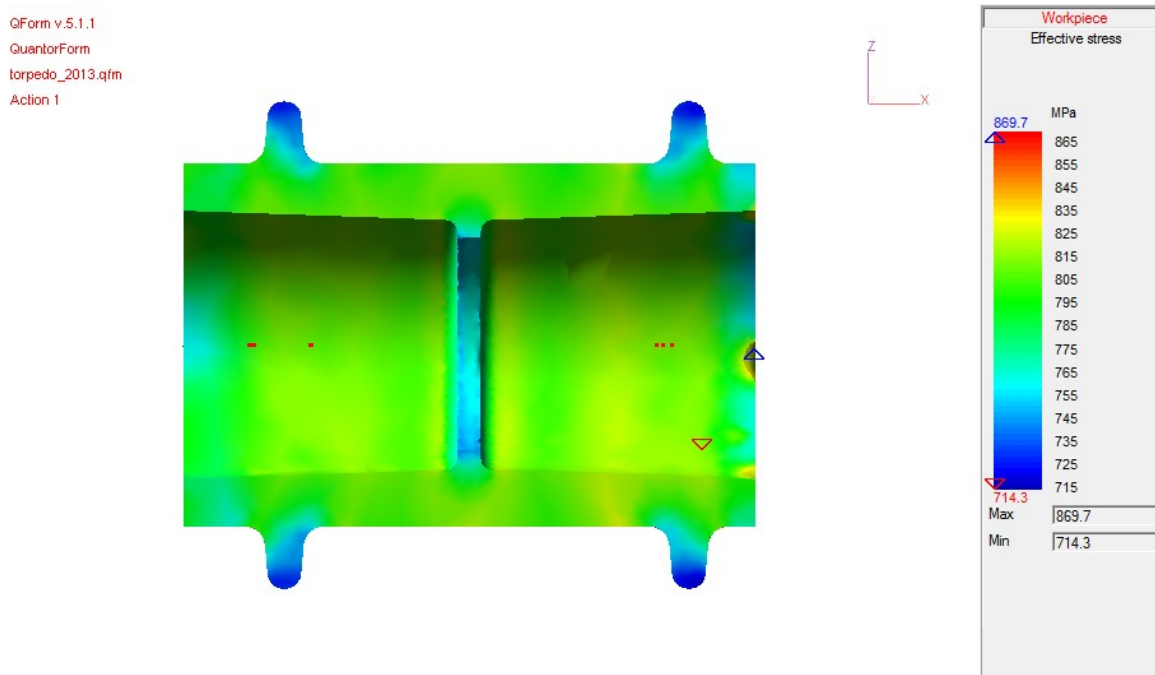
Obr. 42 - Velikost efektivní deformace po lisování



Obr. 43 - Znázornění působení největších deformací

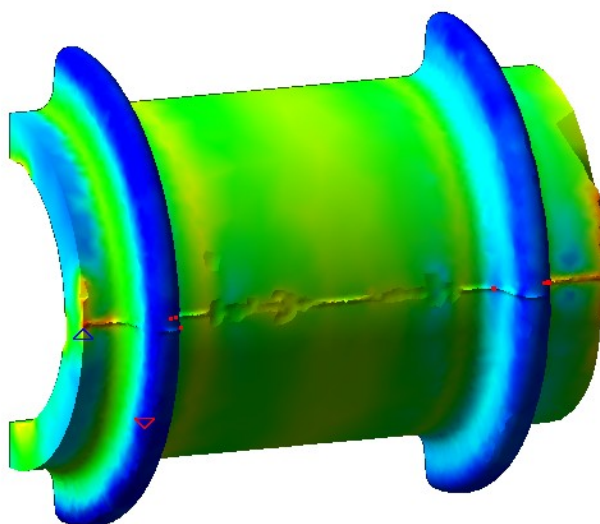
10.2.4 Efektivní napětí

V řezu (Obr. 44) je vidět, že je deformační napětí v materiálu rozloženo rovnoměrně, po celém objemu výlisku. Jeho hodnota se pohybuje v rozmezí 715 až 825 MPa.

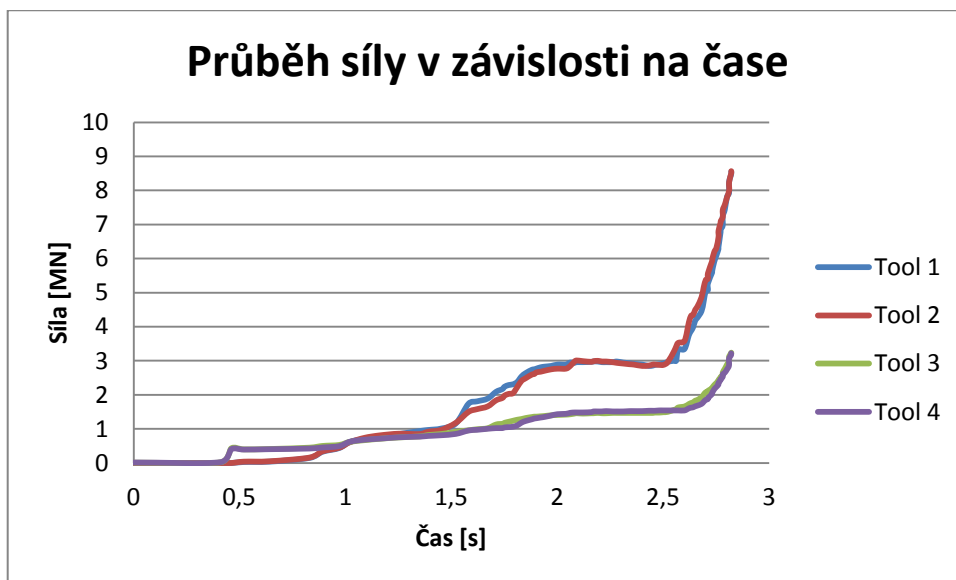


Obr. 44 - Velikost deformačního napětí po lisování [MPa]

Malý výronek uprostřed výlisku, zřetelně patrný na následujícím obrázku (Obr. 45), znázorňuje vtlačení materiálu do dělicí roviny zápustky. Obě protilehlé poloviny zápustky, totiž mají zaoblené hrany radiusem 0,5mm. Tato mezera proto zapříčinila zvýšení hodnoty deformačního napětí právě v těchto místech. Deformační napětí zde dosahuje maximálních hodnot 869,7MPa – místo označené modrou šipkou. Střední hodnota deformačního napětí však dosahuje průměrných hodnot 830 MPa.



Obr. 45 - Prostorové znázornění deformačního napětí na výlisku



Graf 2 - Průběh síly lisování v závislosti na čase

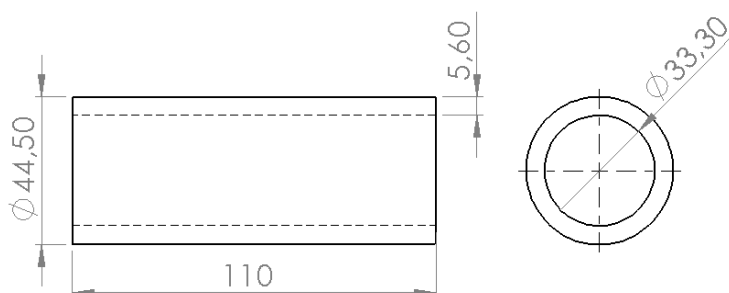
Síly působící na nástroje při lisování za studena jsou znázorněny v grafu 2.

- Tool 1 – vrchní polovina zápustky
- Tool 2 – spodní polovina zápustky
- Tool 3 – Pravý lisovací trn
- Tool 4 – Levý lisovací trn

Z grafu vidíme, že lisovací trny jsou zatíženy podstatně menší tvářecí silou, než obě poloviny zápustky, kde tvářecí síla dosahuje hodnot 8,6MN. K výraznému zvýšení této síly dochází cca 2,5 sekundy od začátku lisování. V této době začíná materiál zatíkat do dutiny mezi lisovacími trny a tím začíná klást větší odpor.

10.3 Simulace pro tloušťku stěny 5,6mm

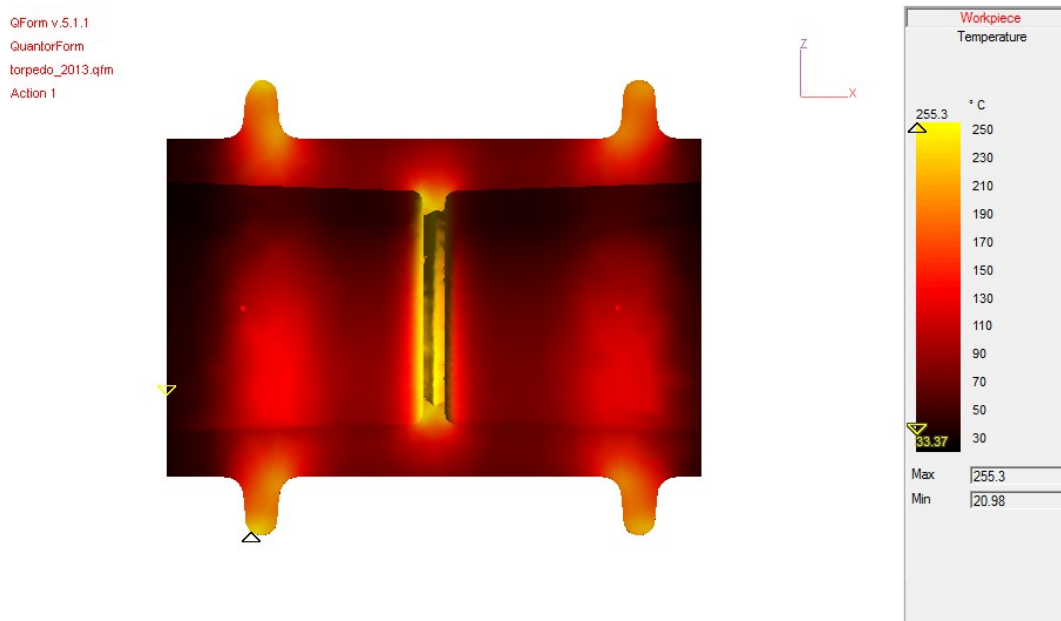
10.3.1 Rozměry polotovaru



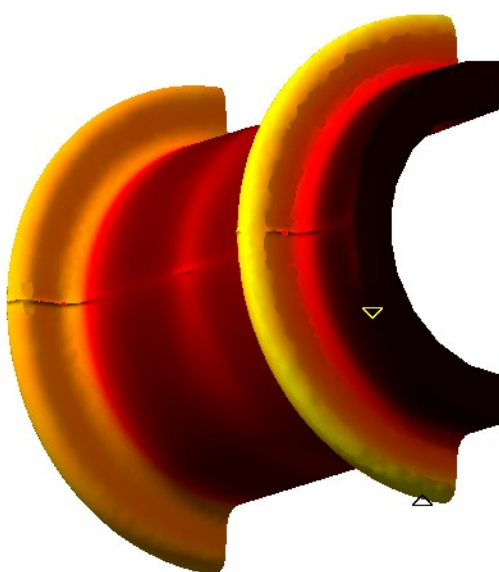
Obr. 46 - Rozměry polotovaru pro druhou variantu

10.3.2 Teplotní pole

U teplotní analýzy pro trubku s tloušťkou stěny 5,6mm můžeme vidět podobný průběh jako u předchozí simulované varianty. I zde dochází k největšímu nárůstu teploty na okraji vnějšího prstence a uprostřed mezi lisovacími trny, vlivem vtlačování a přechování materiálu. Materiál se tedy v těchto místech ohřeje z 21°C, což je počáteční teplota, až na 255,3°C.



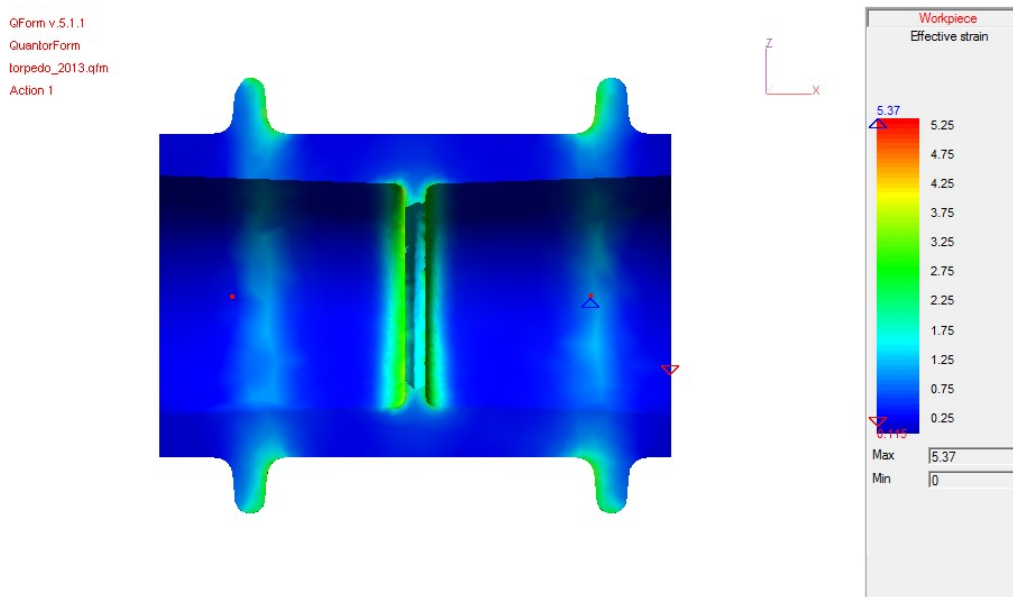
Obr. 47 - Teplotní pole po lisování trubky s tloušťkou stěny 5,6mm



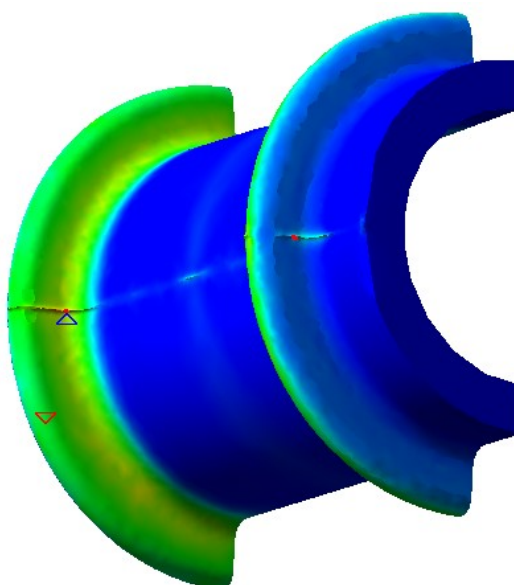
Obr. 48 - 3D pohled na teplotní pole

10.3.3 Efektivní deformace

Největší hodnoty deformace můžeme opět naměřit u záhybů, kde materiál naráží a mění se směr jeho tečení. Hodnoty v těchto místech, na obrázku (Obr. 49) označeny modrou šipkou nebo nazelenalou barvou, představují hodnoty deformace 5,37. Minimální hodnota je přitom na okrajích a je označena modrou barvou.



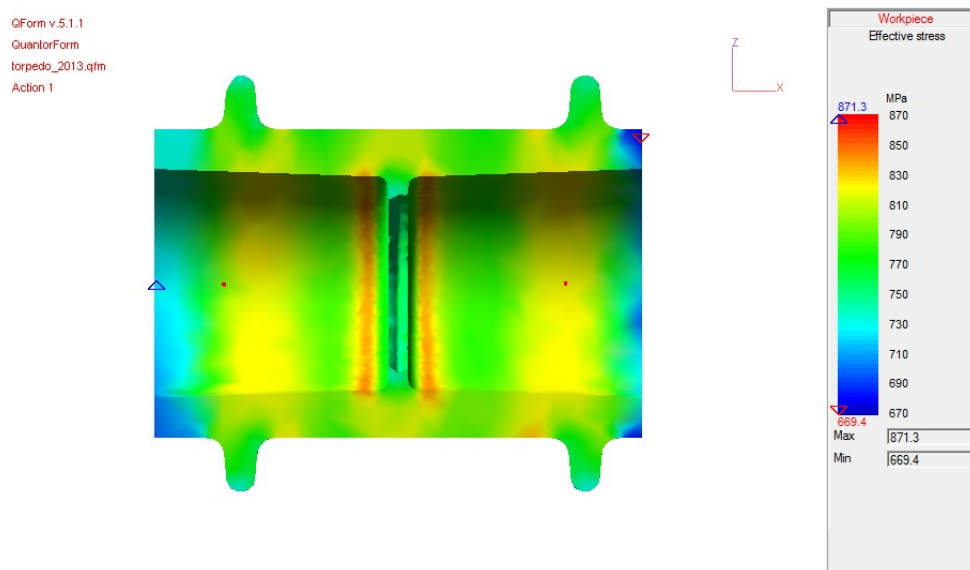
Obr. 49 - Efektivní deformace po lisování trubky s tloušťkou stěny 5,6mm



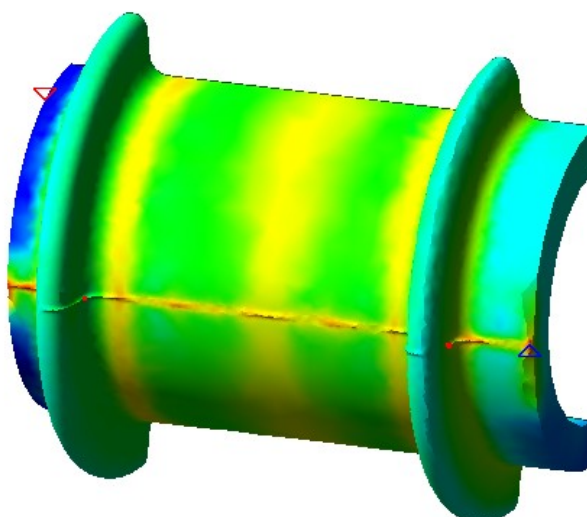
Obr. 50 - Prostorové grafické znázornění efektivní deformace

10.3.4 Efektivní napětí

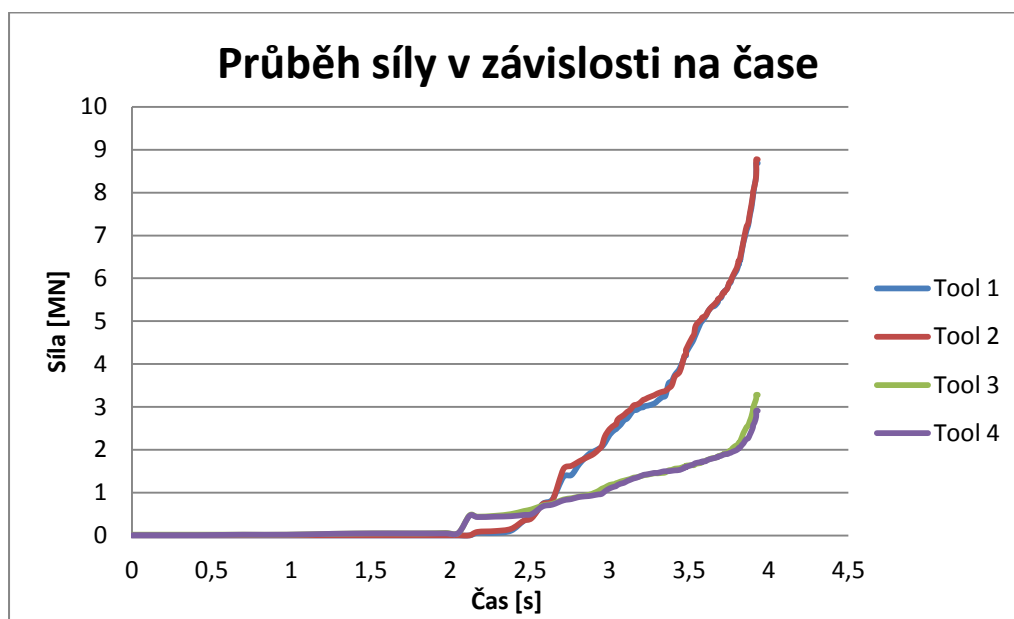
Deformační napětí u trubky 44,5x5,6mm již vykazuje vyšší hodnoty, než u simulace varianty s tenčí stěnou. Může to být způsobeno větším množstvím materiálu polotovaru, jehož přebytek musí být vtlačen do dutiny mezi trny nebo větším průřezem materiálu. V okolí vtoku do dutiny mezi trny můžeme vidět načervenalou barvu, což představuje deformační napětí o hodnotě 830-870 MPa.



Obr. 52 - Velikost efektivního napětí po lisování trubky 5,6mm



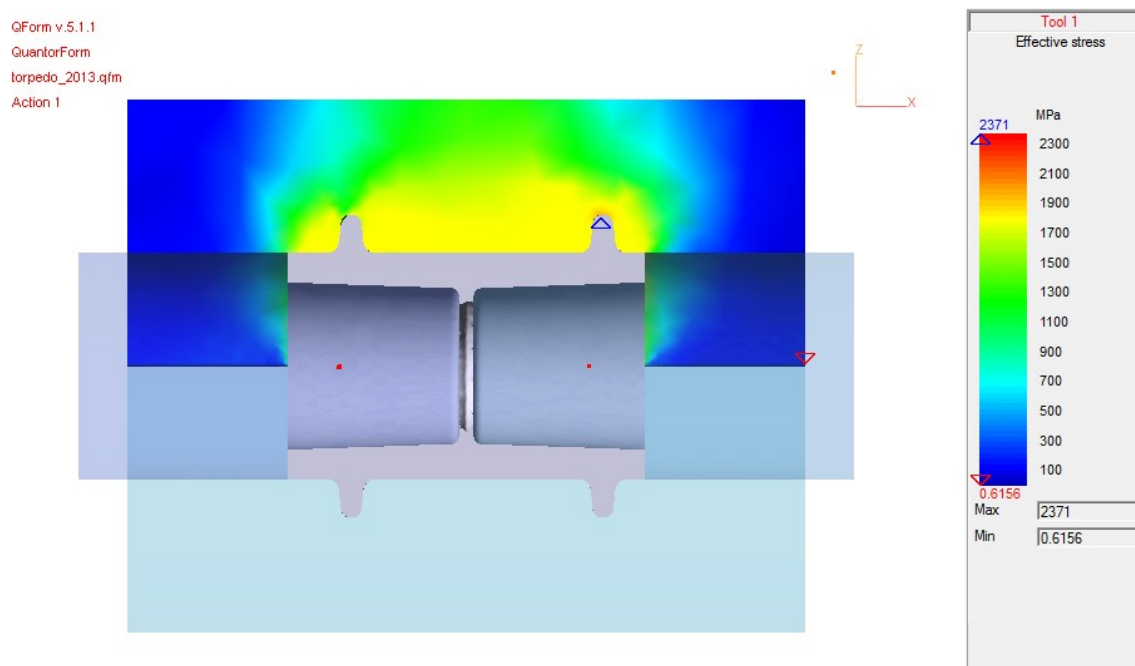
Obr. 51 - Velikost efektivního napětí - pohled na vnější část vylisku



Graf 3 - Průběh lisovacích sil nástrojů v závislosti na čase

Tvářecí síla působící na nástroje v této části simulace, je velmi podobná jako v kapitole 9.2.4. Časová prodleva průběhu síly ze začátku lisování, viditelná v následujícím grafu (Grafu 3), je způsobena zkrácením polotovaru, z důvodu větší tloušťky stěny. Lisovací trny jdou v tomto případě 2 sekundy téměř na prázdko, než se dostanou do kontaktu s polotovarem. Poté již velikost sil na nástrojích prudce roste. Nejvíce opět na zápustkách a to téměř na identickou hodnotu, jako v kapitole 9.2.4. Velikost této síly je až 8,9MN. Lisovací trny jsou zatíženy silou 3 až 3,2MN.

10.4 Namáhání nástroje



Obr. 53 - Namáhání nástroje při lisování za studena - trubka 5,6mm

Nástroj pro lisování za studena vykazuje, dle grafického znázornění, největší namáhání v oblasti kolem výlisku. Tlaky se v těchto středních místech nástroje pohybují v rozmezí 1000 až 1829 MPa. Lokální extrém, znázorněn modrou šipkou, můžeme opět zanedbat vlivem nepřesnosti v simulaci, způsobené například špatným nastavením radiusu v daném místě. Výpočty jsou poté v tomto místě mírně zkresleny a ukazují zavádějící informace. Na zbytek simulace to však nemá žádný vliv.

10.5 Porovnání a vyhodnocení variant

Pro porovnání obou variant lisování za studena, zda je vhodnější použití trubky s tenčí nebo tlustší stěnou, můžeme využít následující tabulku (Tabulka 9), ve které jsou do sloupců vypsány nejdůležitější parametry průběhu obou simulací. Žlutě označená pole reprezentují lepší výsledek, takže lze konstatovat, že vhodnější variantou je trubka se stěnou 5,6mm. Hlavní výhodou je větší tloušťka materiálu, pro následné dokončovací operace.

Tabulka 9 - Tabulkové porovnání zjištěných variant lisování za studena

Porovnání vlastností	Tloušťka stěny [mm]	
	5	5,6
Teplotní pole min	20,98 [°C]	20,98 [°C]
Teplotní pole max	260,7 [°C]	255,3 [°C]
Intenzita deformace min	0 [-]	0 [-]
Intenzita deformace max	4,25 [-]	3,40 [-]
Deformační napětí	830 [MPa]	845 [MPa]

legenda:

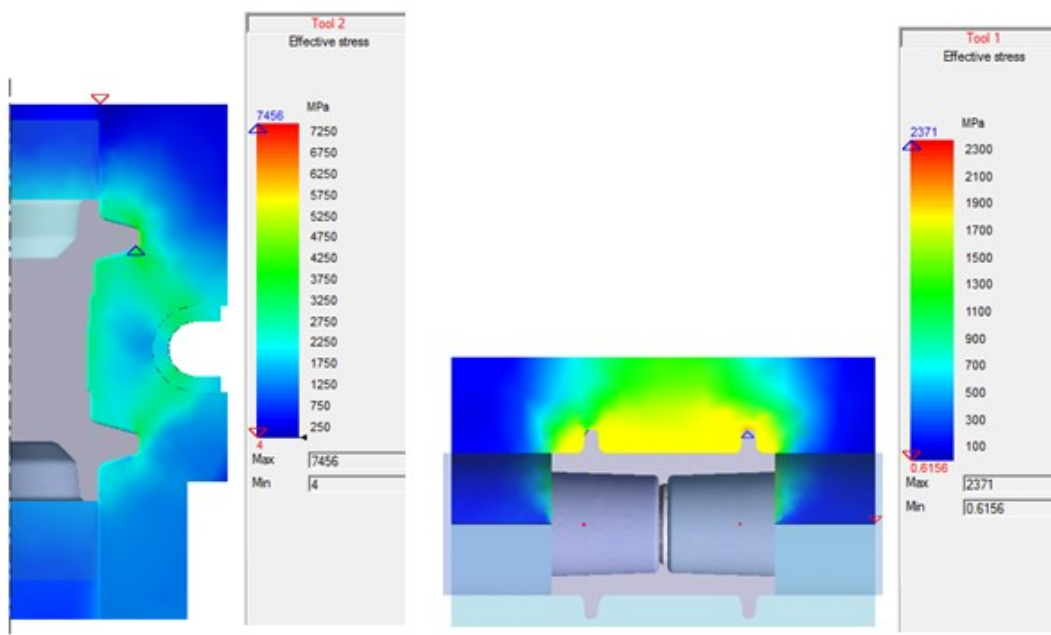
lepší varianta

11 TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Budeme-li jednotlivé varianty výroby pláště volnoběžky hodnotit z hlediska spotřeby materiálu, tak jednoznačně úsporněji vychází varianty zhotovené formou lisování za studena. V těchto případech není množství odpadu při následných dokončovacích operacích tak obrovský, jako v případě zápusťkového kování, kdy je u výkovku posléze potřeba zhotovit díru, pro uložení vnitřních součástí volnoběžky. To představuje odvrtní a osoustružení veškerého přebytečného materiálu. V případě zhotovení z trubky, máme již tuto díru předpřipravenou a stačí pouze finální opracování.

Další nemalá úspora, v případě porovnání těchto dvou zmíněných variant, je úspora energetická. U lisování za studena odpadá nutnost zahřívat polotovary na kovací teplotu. V našem případě na 1100°C. V tomto ohledu tedy není potřeba investice do výrobního zařízení, přesněji řečeno do ohřívací pece.

Zaměříme-li se na životnost jednotlivých nástrojů, dojdeme k závěru, že je dle simulací více namáhána zápusťka pro kování, takže bude náchylnější k opotřebení. Vliv na opotřebení má zejména kovací teplota polotovaru. Namáhání nástrojů v následujícím obrázku (Obr. 54), je u kovací zápusťky zkráceno výchylkou v simulaci. Reálné hodnoty namáhání jsou menší, než v případě lisování za studena. V simulaci byl pevně nastaven kovací čas, kvůli němuž došlo v závěru kování k přeplnění zápusťky a hodnoty se dostaly do extrémních nereálných hodnot. V porovnání se však můžeme řídit barevným schématem, kde jasně vidíme, že u kování je zbarvení zeleno modré, což podle hodnot u lisování představuje zhruba 900MPa.



Obr. 54 - Porovnání velikostí namáhání nástrojů pro kování a lisování za studena

Obě metody, jak zápuťkové kování, tak lisování, mají svá pozitiva i negativa. Lisování za studena šetří náklady, dá se jednoduše plně automatizovat, není potřeba manipulátor pro přemísťování zahřátých polotovarů ani speciální pece. Nejdůležitější faktory jsem proto sepsal do přehledné tabulky (Tabulka 10), kde zelené pole reprezentuje hodnotu lepší a naopak oranžové pole hodnotu horší.

Tabulka 10 - Vyhodnocení nejdůležitějších faktorů mezi kovááním a lisováním

vlastnost	kování	lisování
Spotřeba materiálu	vyšší	nižší
Náročnost dokončovacích operací	vyšší	nižší
Energetická náročnost	vyšší	nižší
Cena polotovaru	vyšší	nižší
Namáhání nástrojů	vyšší	nižší
Potřebný čas pro vykonání operace	nižší	vyšší
Velikost efektivní deformace	nižší	vyšší
Velikost efektivního napětí	nižší	vyšší

12 ZÁVĚR

Pro zadaný výrobek byly zpracovány tři simulace v programu QForm. První simulace se týkala zápusťkového kování zadané součásti, v tomto případě plášťě volnoběžky. Vyhodnocovaly se parametry jako teplotní pole před a po kování, efektivní deformace po kování, efektivní napětí po kování, závislost působení kovacích sil na nástrojích v průběhu kování a v poslední řadě také namáhání zápusťky. U teplotního pole se zjišťovalo, zda dokovací teplota nebyla pod kritickou hodnotou. Dále se vyhodnocovala efektivní deformace ve výkovku po kování, a hledala se maxima a minima včetně zanalyzování jejich příčin. Následně došlo na vyhodnocení efektivního napětí, u kterého se opět určovala z výsledků simulace jeho průměrná a maximální hodnota.

Druhá simulace byla prováděna na tenkostěnnou bezešvou trubku o průměru 44,5mm a tloušťce stěny 5mm. V tomto případě se simulace prováděla pro lisování za studena. Tento způsob má oproti kování mnoho výhod, které v této práci byly popsány převážně v kapitole zabývající se technicko-ekonomickým zhodnocením. Odpadá zde nutnost předehřevu na kovací teplotu a z výsledků simulace lze říci, že je tato technologie pro výrobu volnoběžky vyhovující. Z teplotního grafu po lisování se teplota výlisku nijak dramaticky nezvýšila, pouze v oblasti vtoku materiálu mezi lisovací trny, ale i tak se stále jednalo o relativně nízké teploty. I u této varianty byly zkoumány výsledky týkající se efektivní deformace a efektivního napětí ve výlisku po skončení lisování. Následně byly vyhodnoceny průběhy tvářecích sil na jednotlivých nástrojích.

Poslední, třetí simulace, se prováděla opět na bezešvou tenkostěnnou trubku, ale tentokrát s tloušťkou stěny 5,6mm. To mělo vliv na její délku, která se musela zkrátit na požadovanou hodnotu, aby se zachoval stejný objem polotovarů. Vyhodnoceny byly stejné parametry jako v předchozím případě. Následně se vzájemně porovnaly a bylo zjištěno, že se pro tento technologický postup hodí více trubka se silnější stěnou.

13 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obr. 1 - Uspořádání tvářecího stroje [3]	12
Obr. 2 - Volnoběžka.....	14
Obr. 3 - Prostřihnutí materiálu [6]	21
Obr. 4 - Výstřížek je součástí [6]	21
Obr. 5 - Výstřížek je odpadem[6]	21
Obr. 6 - Nastřihování materiálu[6]	21
Obr. 7 - Přestřihování materiálu[6].....	22
Obr. 8 - Ostřihování materiálu[6]	22
Obr. 9 - Přistřihování materiálu[6]	22
Obr. 10 - Protrhávání[6].....	22
Obr. 11 - Vyrovnávání[6]	23
Obr. 12 - Ohýbání[6]	23
Obr. 13 - Lemování[6]	23
Obr. 14 - Kroužení[6]	23
Obr. 15 - Vytahování[6].....	24
Obr. 16 - Po rozšiřování[6]	24
Obr. 17 - Před rozšiřováním[6].....	24
Obr. 18 - Ražení[6]	24
Obr. 19 - Kalibrování[6]	24
Obr. 20 - Po zpětném protlačování [6]	25
Obr. 21 - Před zpětným protlačováním [6]	25
Obr. 22 - Před dopředným protlačováním [6].....	26
Obr. 23 - Po dopředném protlačování [6]	26
Obr. 24 - Po protlačování[6]	26
Obr. 25 - Před protlačováním[6].....	26
Obr. 26 - Stranové protlačování[6]	27

Obr. 27 - Ukázka trojcestného lisu	31
Obr. 28 - Zápustka pro kování	33
Obr. 29 - Objem výkovku	33
Obr. 30 - Výchozí polotovár - kování	34
Obr. 31 - Diagram kovacíh teplot [10].....	34
Obr. 32 - Kovací teplota polotovaru	35
Obr. 33 - Teplotní pole po dokování.....	36
Obr. 34 - Velikost intenzity deformace po kování.....	37
Obr. 35 - Velikost deformačního napětí po kování	37
Obr. 36 - Velikost namáhání nástroje po dokování [MPa]	38
Obr. 37 - Zápustka pro lisování s polotovarem	40
Obr. 38 - Zápustka pro lisování	40
Obr. 39 - Rozměry polotovaru pro trubku se stěnou 5mm	41
Obr. 40 - Teplotní pole polotovaru před lisováním – teplota polotovaru 21°C.....	41
Obr. 41 - Teplotní pole po lisování.....	42
Obr. 42 - Velikost efektivní deformace po lisování.....	43
Obr. 43 - Znázornění působení největších deformací	43
Obr. 44 - Velikost deformačního napětí po lisování [MPa]	44
Obr. 45 - Prostorové znázornění deformačního napětí na výlisku	44
Obr. 46 - Rozměry polotovaru pro druhou variantu	45
Obr. 47 - Teplotní pole po lisování trubky s tloušťkou stěny 5,6mm.....	46
Obr. 48 - 3D pohled na teplotní pole	46
Obr. 49 - Efektivní deformace po lisování trubky s tloušťkou stěny 5,6mm	47
Obr. 50 - Prostorové grafické znázornění efektivní deformace.....	47
Obr. 51 - Velikost efektivního napětí - pohled na vnější část výlisku.....	48
Obr. 52 - Velikost efektivního napětí po lisování trubky 5,6mm	48
Obr. 53 - Namáhání nástroje při lisování za studena - trubka 5,6mm	50

Obr. 54 - Porovnání velikostí namáhání nástrojů pro kování a lisování za studena	52
--	----

14 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka 1 - Přehled základních ocelí používaných pro tváření za studena [6]	28
Tabulka 2 - Chemické složení oceli 19 733 [11]	29
Tabulka 3 - Parametry trojcestného lisu	31
Tabulka 4 - Chemické složení oceli 11 523 [13]	32
Tabulka 5 - Mechanické vlastnosti oceli 11 523[13].....	32
Tabulka 6 - Porovnání hmotnosti trubek pro lisování za studena [12]	39
Tabulka 7 - Chemické složení [13]	40
Tabulka 8 - Mechanické vlastnosti [13]	40
Tabulka 9 - Tabulkové porovnání zjištěných variant lisování za studena	51
Tabulka 10 - Vyhodnocení nejdůležitějších faktorů mezi kovááním a lisováním	52

15 SEZNAM POUŽITÝCH GRAFŮ

Graf 1 - Průběh síly při kování v závislosti na čase.....	38
Graf 2 - Průběh síly lisování v závislosti na čase	45
Graf 3 - Průběh lisovacích síl nástrojů v závislosti na čase	49

LITERATURA

- [1] GRÁF, Radomír. *Zápustkové kování pastorku*. Brno, 2011. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie.
- [2] KORÁBEK, J.; ŠPAČEK, J. *Postupové zakružovací zařízení, zvláště pro výrobu plášťů volnoběžek jízdního kola*. Úřad pro vynálezy a objevy. PV 8197-85 [online]. [cit. 2013-2-14]. Dostupné na [www](http://www.wipo.int/patentscope/records.jsp?cls=C&no=819785):
<<http://spisy.upv.cz/Patents/FullDocuments/255/255438.pdf>>
- [3] RUSZ, Stanislav. *Tváření : Část I*. Ostrava : VŠB TU Ostrava, 2003. 155 s. ISBN 80-248-0340-2.
- [4] DVOŘÁK, Milan; MAREČKOVÁ, Michaela. *Technologie tváření : Studijní opory pro kombinované studium I. stupeň, 2. Ročník CTT-K* [online]. [cit. 2013-3-20]. Dostupné na [www](http://www.wipo.int/patentscope/records.jsp?cls=C&no=819785):
<http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/kapitola_2.htm>
- [5] ČADA, Radek. *Technologie tváření a slévání : Zápustkové kování, slévání*. Ostrava : VŠB TU Ostrava, 2010. 126 s. ISBN 978-80-248-2274-7.
- [6] HAŠEK, Vladimír. *Tváření kovů za studena*. Praha : ČVUT, 1958. 194 s. ISBN 978-80-248-2274-7.
- [7] JKZ Bučovice a.s. *Ocel nástrojová pro práce za studena W. NR. 1.2550*. [Online]. [cit. 2013-3-27]. Dostupné z [www](http://www.wipo.int/patentscope/records.jsp?cls=C&no=819785):
<<http://www.jkz.cz/node/155>>
- [8] WIKIPEDIA. *SolidWorks*. [Online]. [cit. 2013-4-02]. Dostupné z [www](http://www.wipo.int/patentscope/records.jsp?cls=C&no=819785):
<<http://cs.wikipedia.org/wiki/SolidWorks>>
- [9] PTÁČKOVÁ, Hana. *Analýza technologie tváření ložiskových kroužků*. Ostrava, 2012. Diplomová práce. VŠB-Technická Univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie.
- [10] LENFELD, Petr. *Technologie II.*. [Online]. Technická univerzita Liberec [cit. 2013-4-08]. Dostupné z [www](http://www.wipo.int/patentscope/records.jsp?cls=C&no=819785):
<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm>

- [11] AKROSTAL. *Nástrojová ocel pro práci za studena*. [Online]. [cit. 2013-3-27].
Dostupné z www:
<<http://www.akrostal.pl/cs/12550NZ3.html>>
- [12] BMB OCEL s.r.o. *Trubky*. [Online]. [cit. 2013-3-27]. Dostupné z www:
<<http://www.bmbocel.cz/trubky>>
- [13] CZ FERRO STEEL. *ČSN 11523 – Konstrukční ocel*. [Online]. [cit. 2013-3-27].
Dostupné z www:
<<http://www.czferrosteel.cz/pdf/trubky4-11523.pdf>>
- [14] PETRUŽELKA, J; BŘEZINA, R. *Úvod do tváření I*. Ostrava : VŠB TU Ostrava, 2001. 160 s. ISBN 80-7078-877-1.